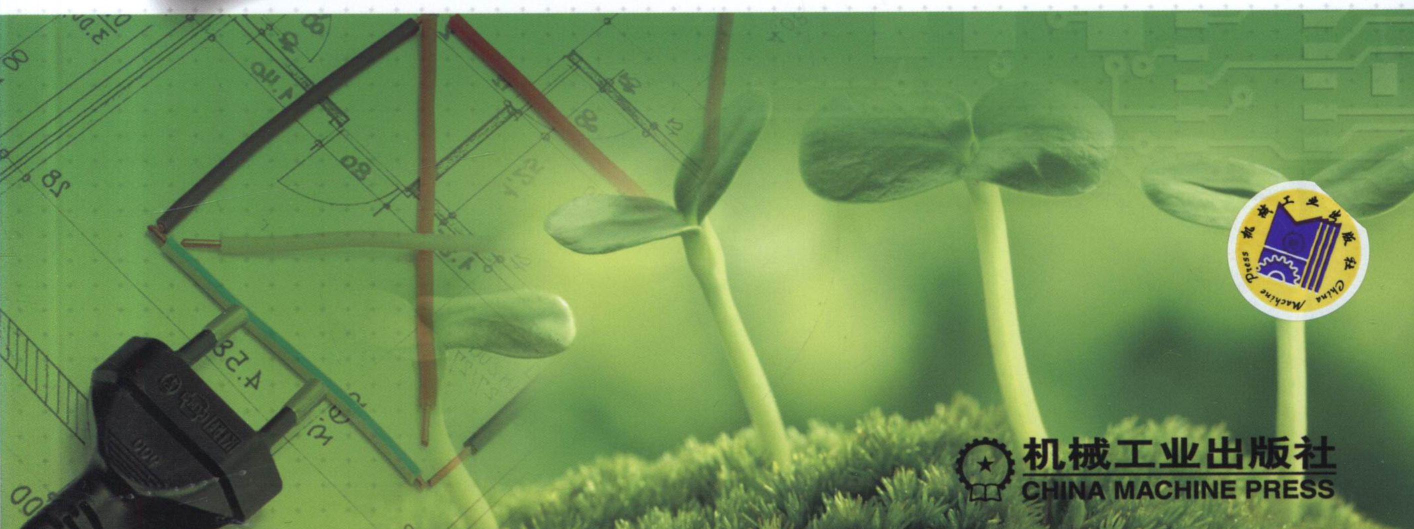
● 本书获宁波市科协科普资助项目资助出版

节电百例一点通

第2版

主编 李方园



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

节电百例一点通

第 2 版

主　编　李方园
副主编　李雄杰　叶　明

机 械 工 业 出 版 社

本书主要介绍了家电及家庭生活节电案例、大型建筑与公用设备节电案例、工厂节电案例共计128例，并通过大量图表和照片等形式深入浅出地阐述了如何进行节电、如何判断节电的方法和措施，进一步理清了节电误区，以科学的眼光来看待各种电器和设备的能耗标准，建立起低碳行动纲领。

本书能让更多的公民认识到“节电其实很简单”，“动手做一下就能节电”，“节电的金点子很多”，亲身实践节电行动。

图书在版编目（CIP）数据

节电百例一点通/李方园主编．—2版．—北京：机械工业出版社，2015.5

本书获宁波市科协科普资助项目资助出版

ISBN 978-7-111-50333-0

Ⅰ．①节…　Ⅱ．①李…　Ⅲ．①节电—基本知识　Ⅳ．①TM92

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第110359号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：林春泉　责任编辑：林春泉
版式设计：赵颖喆　责任校对：肖　琳
封面设计：路恩中　责任印制：乔　宇
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2015年8月第2版第1次印刷
184mm×260mm·13.5印张·329千字
0 001—3 000册
标准书号：ISBN 978-7-111-50333-0
定价：39.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务　　网络服务
服务咨询热线：010-88361066　机 工 官 网：www.cmpbook.com
读者购书热线：010-68326294　机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
010-88379203　金 书 网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版　教育服务网：www.cmpedu.com

前　　言

能源是人类赖以生存的基础，随着地球资源的一天天减少、地球环境的一天天恶化、各种自然灾害的频繁加剧，整个人类都处于能源短缺和环境恶化的巨大压力之中。因此，我们必须做出改变——合理使用能源，减少能源浪费，减少环境污染，为我们自己和后代营造一个良好的生活环境而努力，而这也是建设“美丽中国”的一部分。

电能作为能源的一部分，我们应该急需意识到节约电能的责任。节电，不仅仅是节约了能源，降低了用电成本，更重要的是保护了资源，保护了环境。每一个公民都应该积极提倡并去实践节电的低碳生活，并从日常点滴做起。

本书共分4章。第1章介绍了节电入门常识。第2章主要介绍了家电中加热类、制冷类、风机类、照明类等各种常见电器的31种节电方法或措施，并对节能家电的选用提出了一些建议。第3章主要介绍了包括电梯、中央空调、供水设备、路灯照明、配电设备等42个建筑电器和公用设备的节电案例。第4章提出了在工厂节电中对现有设备进行节电技术改造的方法，包括从电气部分，也要从工艺部分、机械部分出发，即使一个小小的时间继电器的应用也能改变某些设备的电能消耗情况，共计55个案例。

本书由李方园任主编，李雄杰、叶明任副主编，另外柳桂国、郑振杰、陈亚玲、张东升、胡焕啸、钟晓强、杨帆、黄章明、吴於、陈贤富、李伟庄、章富科等参与了相关章节的编写工作。

在本书编写过程中，得到了宁波中华纸业有限公司、宁波钢铁有限公司、宁波捷创技术有限公司、宁波安科电气有限公司等厂家相关人员的帮助，并提供了相当多的节电案例，中国传动网也为本书提供了最新的项目案例；同时对在编写中参考和引用国内外多位专家、学者最新发表的论文和著作等，在此一并致谢！

本书的出版获得了宁波市科协科普资助项目经费的支持，在此表示感谢！

作　者

2015. 4

目　　录

前言
第 1 章　节电入门常识 …… 1
第 1 节　节能节电小知识 …… 2
第 2 节　用电安全常识 …… 3
第 3 节　节电相关法规摘选 …… 7
第 4 节　基本用电术语 …… 9

第 2 章　家用电器与生活用电节电案例 …… 11
案例 1　家电待机模式的合理选择 …… 12
案例 2　电磁炉的节电 …… 13
案例 3　电饭煲的节电 …… 14
案例 4　微波炉的节电 …… 17
案例 5　电热水器的节电 …… 18
案例 6　电熨斗的节电 …… 19
案例 7　电热水壶的节电 …… 19
案例 8　饮水机的节电 …… 20
案例 9　普通分体式空调的节电 …… 20
案例 10　变频空调的选用 …… 21
案例 11　户式中央空调的节电 …… 23
案例 12　冰箱的节电 …… 24
案例 13　变频冰箱的选用 …… 25
案例 14　电风扇的节电 …… 26
案例 15　吸尘器的节电 …… 27
案例 16　波轮洗衣机的节电 …… 28
案例 17　滚筒洗衣机的节电 …… 29
案例 18　变频洗衣机的选用 …… 30
案例 19　抽油烟机的节电 …… 31
案例 20　加湿器的节电 …… 32
案例 21　浴霸的节电 …… 33
案例 22　液晶电视机的节电 …… 34
案例 23　音响设备的节电 …… 35
案例 24　台式计算机的节电 …… 35
案例 25　笔记本电脑的节电 …… 37
案例 26　家用节能灯的选用 …… 38
案例 27　简易延时照明节电电路的制作 …… 39
案例 28　触摸式延时照明节电电路的制作 …… 40
案例 29　声光控延时照明节电电路的制作 …… 41
案例 30　家庭 LED 节能灯具的选用 …… 42
案例 31　智能节电插座的设计 …… 44

第 3 章　大型建筑与公用设备节电案例 …… 47
案例 32　节电型交流接触器的选用 …… 48
案例 33　变频器在离心泵中的选用 …… 49
案例 34　变频器在离心风机上的选用 …… 51
案例 35　升降电梯的节电 …… 52
案例 36　自动扶梯的节电 …… 54
案例 37　中央空调冷水机组的节电 …… 56
案例 38　中央空调冷却塔风机的节电 …… 58
案例 39　中央空调变频送风机的选用 …… 59
案例 40　酒店空调风机盘管的节电 …… 62
案例 41　中央空调系统设计裕量的节能 …… 64
案例 42　新型能量回收式新风系统的选用 …… 65
案例 43　污水源热泵节能系统的选用 …… 66
案例 44　地铁车站环控系统的节电 …… 67
案例 45　高压钠灯的节电 …… 69
案例 46　自动调压变压器在照明节电中的选用 …… 71
案例 47　高速公路隧道照明的节电 …… 72
案例 48　路灯降压节电的应用 …… 74
案例 49　高校教学楼照明的节电 …… 76
案例 50　大型商场照明节电的设计 …… 78
案例 51　T8 高频荧光灯的选用 …… 78
案例 52　地铁列车客室照明的节电 …… 80
案例 53　路灯节电器的选用 …… 83

案例 54 智能综合节电器在小区配电中的选用 …… 84
案例 55 配电变压器的节能措施 …… 87
案例 56 变频给排水系统的选用 …… 89
案例 57 无负压给水节能设备的选用 …… 91
案例 58 高层居住区给水的节电 …… 93
案例 59 深井泵变频供水设备的选用 …… 93
案例 60 生活消防合用变频供水设备的选用 …… 95
案例 61 带小流量泵变频供水设备的选用 …… 95
案例 62 微机供水节电控制器的选用 …… 96
案例 63 污水泵系统的变频改造 …… 100
案例 64 基于 S7-200 的路灯节电控制器设计 …… 101
案例 65 GSM 短消息控制的智能照明节电系统 …… 102
案例 66 港口照明的节电 …… 104
案例 67 单位停车场照明系统的节电改造 …… 106
案例 68 智能节电器在低压配电中的应用 …… 108
案例 69 智能电源控制系统的设计 …… 109
案例 70 低压电网的无功补偿节电 …… 110
案例 71 基于超级电容的电梯能量回收系统 …… 111
案例 72 通信基站“免空调”节能技术的应用 …… 112
案例 73 TD-LTE 通信网络的载频智能节电 …… 114

第 4 章 工厂节电案例 …… 117

案例 74 注塑机的节电 …… 118
案例 75 塑料挤出机的节电 …… 119
案例 76 全电动注塑机的选用 …… 121
案例 77 交流电焊机的节电 …… 122
案例 78 节电型逆变电焊机的选用 …… 124
案例 79 螺杆空压机的变频节电改造 …… 126
案例 80 空压机余热回收系统的选用 …… 127
案例 81 变频螺杆空压机的选用 …… 128
案例 82 活塞式空压机的变频改造 …… 131
案例 83 电除尘器的节电 …… 132
案例 84 凝结水系统的节电 …… 135
案例 85 电厂锅炉一次风机高压变频器的选用 …… 136
案例 86 发电厂循环水泵的双速改造 …… 138
案例 87 电厂灰浆泵系统的永磁调速改造 …… 139
案例 88 电厂冷却水塔均匀进风节能改造 …… 141
案例 89 起重机主电动机的变频改造 …… 142
案例 90 电动葫芦的节电 …… 145
案例 91 桥式起重机的节电 …… 147
案例 92 集装箱龙门吊的节电 …… 148
案例 93 液压系统的节电 …… 150
案例 94 紧密纺细纱机的节电 …… 152
案例 95 电动缝纫机的节电 …… 153
案例 96 塑料薄膜设备加热器的节电 …… 154
案例 97 电弧炉的节电 …… 155
案例 98 节能型红外线烘燥机的选用 …… 157
案例 99 涂装烘干炉加热能源的改造 …… 158
案例 100 焊管横移车的节电 …… 160
案例 101 卧螺离心机的节电 …… 161
案例 102 水泵激波节电器的选用 …… 164
案例 103 高炉铁前除尘风机的变频改造 …… 165
案例 104 钢轨刨床的节能改造 …… 167
案例 105 压力机的节电 …… 168
案例 106 压铸机的节电 …… 171
案例 107 变频电动机的选用 …… 172
案例 108 高效节能电动机的选用 …… 173
案例 109 软起动器的选用 …… 176
案例 110 交流电动机节电控制器的选用 …… 177
案例 111 Y/△自动转换节电器的选用 …… 179
案例 112 正弦绕组在 Y2 系列电动机中的选用 …… 180
案例 113 转子变频技术的应用 …… 181
案例 114 开关磁阻电动机的选用 …… 182
案例 115 选煤厂抑制谐波节电器的

应用 …………………………… 183
案例 116　彩涂机组后燃烧排烟风机的节电 …………………………… 185
案例 117　球磨机的节电 …………………… 187
案例 118　永磁电动机在化纤厂的选用 …… 188
案例 119　烧结余热发电项目中高压变频器的应用 ……………………… 189
案例 120　龙门刨床的节电改造 …………… 191
案例 121　立式车床的节电设计 …………… 194
案例 122　港口带式输送机的节电 ………… 196
案例 123　潜油电泵智能节电装置的设计 …………………………… 197
案例 124　油田丛井的抽油机节电 ………… 198
案例 125　油井电加热的节电 ……………… 200
案例 126　可变功率节能传动装置在低渗透油田的应用 ………………………… 201
案例 127　煤矿提升机的节电 ……………… 203
案例 128　注塑机液压系统的变频节电 …… 204

参考文献………………………………… 206

第1章 节电入门常识

导读

电力是国民经济的重要能源，在生活中也是不可缺少的。节约用电不是不用电，而是科学用电，采取技术可行、经济合理的措施，减少电能的直接和间接损耗，提高能源效率和环境保护。在实施节电过程中，必须要懂得安全用电，不懂得安全用电知识就容易造成触电身亡、电气火灾、电器损坏等意外事故。同时，还需要了解节电法规，按照政策依法合理进行节电。最后，还需要懂得节电中的一些专用术语。

第 1 节　节能节电小知识

一、能源就是其自身可以产生热、光与能量的资源

一般来说，自然界固有的、可以不改变其形态就能直接取得的能源称为一次能源，如煤炭、石油、天然气、水能等。表 1-1 所示为世界不同时期一次能源增长速度。由一次能源经过加工转换成另一种形态的能源称为二次能源，如电能、蒸汽、煤油、汽油等。绝大多数一次能源在自然界中的储量是有限的，用一点就少一点，所以我们每个人都要有节能意识。

表 1-1　全世界不同时期一次能源增长速度

类　别	增长速度（%）			
	1980～2000 年（实际值）	2001～2006 年（实际值）	2007～2015 年（预测值）	2016～2030 年（预测值）
一次能源总量	1.7	2.6	1.3	1.6
其中：煤炭	1.3	4.9	2.0	2.0
石油	0.8	1.7	0.8	1.0
天然气	2.7	2.4	1.3	1.8
核电	6.7	1.3	0.8	0.9
水电	2.1	2.5	1.5	1.9
生物质及废弃物	1.7	2.1	1.1	1.4
其他可再生能源	7.9	3.1	6.4	7.2

电能，是指电以各种形式做功（即产生能量）的能力。电能被广泛应用在动力、照明、冶金、化学、纺织、通信和广播等各个领域，是科学技术发展、国民经济飞跃的主要动力。图 1-1 所示为目前电能的产生与输送过程。

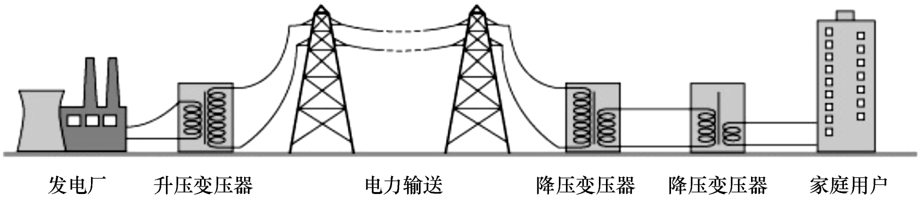


图 1-1　电能的产生与输送过程

二、1kW · h 的作用

电能的单位是千瓦时，符号是 kW · h。1kW · h 就是人们俗称的 1 度电。它有哪些作用呢？你看：普通电风扇能连续运行 15h；25W 的灯泡能连续点亮 40h；9W 的节能灯能使用 110h；1 个马力（735.499W）的空调能开 1.36h；电视机能开 10h。图 1-2 所示为普通家庭用户的电能表所反映出来的“度”的单位（kW · h）。

图 1-2　电能表

节约 1kW·h 电相当于节约 0.35kg 标准煤，还能保护我们的生态环境。

节约 1kW·h 电将少排放：1.7g 烟尘、935g 二氧化碳、6.6g 二氧化硫、3.7g 氮氧化物。

三、家庭如何多用低谷电

根据现行相关规定，将一天 24h 划分成两个时间段，把 8:00～22:00 共 14h 称为峰段，执行峰电价为 0.56 元/kW·h；22:00～次日 8:00 共 10h 称为谷段，执行谷电价为 0.28 元/kW·h。

峰谷电价意义在于，鼓励居民利用低谷电价的优惠条件大量消费低谷电力，比如电热水器、空调和其他电器设备。同时，对电力部门来说，将高峰用电转移到低谷时段，既缓解了高峰电力供需缺口，又促进了电力资源的优化配置，是一项“削峰填谷”的双赢政策。

家庭用户可在低谷时间使用有定时功能的洗衣机、蓄热式电热水器、消毒柜、烘干机等家电设备。手机、数码相机、电动剃须刀等则可在晚上 10 点以后充电。

四、节约电能是每个人的责任和义务

人类的生存离不开能源，尤其是电能。工农业产品是改善人类生活品质、迈向舒适生活的必需品，它的生产离不开能源；家用电器是改善人们生活环境必不可少的组成部分，它的运转也离不开能源。然而，地球所储存的能源是有限的，我们不能只考虑当代的需求，更要为子孙后代考虑，增强全社会的资源忧患意识和节约意识，提倡合理用能、节约用能，这就是“可持续发展”的能源消费观。

能源涉及人们的衣、食、住、行，以及学习、工作、生产、文化娱乐等方方面面，人们天天都在使用、接触能源，所以人人都能为节能做贡献。点滴小事，都涉及使用能源的多和少、能源使用效率的高和低。

随手关灯，人走灯灭，避免“长明灯”。家庭成员要树立自觉的节电意识，在日常工作和生活中养成节约用电的好习惯：家用电器避免长时间处于待机状态，随手关闭不用的电器开关，家用空调调至适当的温度。

第 2 节　用电安全常识

一、学会看安全用电标志

明确统一的标志是保证用电安全的一项重要措施。统计表明，不少电气事故完全是由于标志不统一而造成的。例如由于导线的颜色不统一，误将相线接设备的机壳，而导致机壳带电，酿成触电伤亡事故。

标志分为颜色标志和图形标志。颜色标志常用来区分各种不同性质、不同用途的导线，

或用来表示某处安全程度。图形标志一般用来告诫人们不要去接近有危险的场所。为保证安全用电，必须严格按有关标准使用颜色标志和图形标志。我国安全色标采用的标准，基本上与国际标准草案相同。一般采用的安全色有以下几种：

1）红色：用来标志禁止、停止和消防，如信号灯、信号旗、机器上的紧急停机按钮等都是用红色来表示“禁止”的信息。

2）黄色：用来标志注意危险。如“当心触电”、“注意安全”等。

3）绿色：用来标志安全无事。如“在此工作”、“已接地”等。

4）蓝色：用来标志强制执行，如“必须戴安全帽”等。

5）黑色：用来标志图像、文字符号和警告标志的几何图形。

按照规定，为便于识别，防止误操作，确保运行和检修人员的安全，采用不同颜色来区别设备特征。如电气母线，A 相为黄色，B 相为绿色，C 相为红色，明敷的接地线涂为黑色。在二次系统中，交流电压回路用黄色，交流电流回路用绿色，信号和警告回路用白色。

二、人体触电及其影响因素

1. 电击和电伤

人体触电有电击和电伤两种。所谓电击，是指电流通过人体内部器官，使其受到伤害。当电流作用于人体中枢神经，使心脏和呼吸器官的正常功能受到破坏，血液循环减弱，人体发生抽搐、痉挛、失去知觉甚至假死，若救护不及时，则会造成死亡。

电伤是指电流的热效应、化学效应和机械效应对人体外部器官造成的局部伤害，包括电弧引起的灼伤。电流长时间作用于人体，由其化学效应及机械效应在接触电流的皮肤表面形成肿块、电烙印及在电弧的高温作用下熔化的金属渗入人体皮肤表层，造成皮肤金属化等。电伤是人体触电事故中危害较轻的一种。

2. 电流对人体的伤害

电流对人体的伤害程度与电流的强弱、流经的途径、电流的频率、触电的持续时间、触电者健康状况及人体的电阻等因素有关，见表 1-2。

表 1-2　电流对人体的伤害

项　　目	成 年 男 性	成 年 女 性
感知电流/mA	1.1	0.7
摆脱电流/mA	9 ~ 16	6 ~ 10
致命电流/mA	直流 30 ~ 300，交流 30 左右	直流 30 ~ 200，交流 < 30
危及生命的触电持续时间/s	1	0.7
电流流经路径	流经人体胸腔，则心脏机能紊乱；流经中枢神经，则神经中枢严重失调而造成死亡	
人体健康状况	女性比男性对电流的敏感性高，承受能力为男性的 2/3；小孩比成年人受电击的伤害程度严重；过度疲劳，心情差的人比有思想准备的人受伤程度高；病人受害程度比健康人严重	
电流频率	40 ~ 60Hz 间的交流电对人体伤害最严重，直流电与较高频率的交流电的危害性则小一些	
人体电阻	皮肤在干燥、洁净、无破损的情况下电阻可达数十千欧，潮湿破损的皮肤可降至 800Ω 以下，通常为 1 ~ 2kΩ	

三、人体触电的方式

1. 直接触电

人体任何部位直接触及处于正常运行条件下的电气设备的带电部分（包括中性导体）而形成的触电，称为直接接触触电。它又分为单相触电和两相触电两种情况。

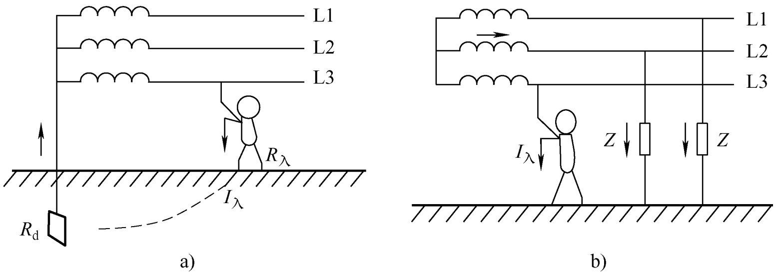


图 1-3　单相触电

a）中性点接地系统的单相触电　b）中性点不接地系统的单相触电

1）单相触电　如图 1-3 所示，当人体站在大地或其他接地体上不绝缘的情况下，身体的某一部分直接接触到带电体的一相而形成的触电，称单相触电。单相触电的危险程度与电压的高低、电网中性点的接地情况及每相对地绝缘阻抗的大小等因素有关。在高电压系统中，人体虽然未直接接触带电体，但因安全距离不够，高压系统经电弧对人体放电，也会形成单相触电。在图 1-3a 所示的中性点接地系统中，通过人体的电流达到 $220V/(1\times10^3\Omega)=220mA$，远远超过人体的摆脱电流。人体若发生单相触电，将产生严重后果。在图 1-3b 所示的中性点不接地系统中，若线路绝缘不良，则绝缘阻抗降低，触电时流过人体的电流相应增大，增加了人体触电的危险性。

2）两相触电　人体同时触及带电设备或线路不同电位的两个带电体所形成的触电，称为两相触电，如图 1-4 所示。当发生两相触电时，人体承受电网的线电压为相电压的$\sqrt{3}$倍，故两相触电为单相触电时流过人体电流的$\sqrt{3}$倍，比单相触电有更大的危险性。

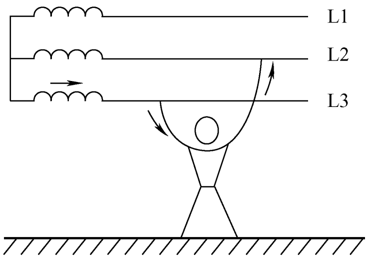


图 1-4　两相触电

2. 间接触电

电气设备在故障情况下，使正常工作时本来不带电的金属外壳处于带电状态，当人体任何部位触及带电的设备外壳时所造成的触电，称为间接触电。

1）跨步电压触电　当电气设备绝缘损坏而发生接地故障或线路一相带电导线断落于地面时，地面各点会出现如图 1-5 所示的电位分布，当人体进入到上述具有电位分布的区域时，两脚间（人的跨步距离按 0. 8m 考虑）就会因为地面电位不同而承受电压作用，这一电压称为跨步电压。由跨步电压引起的触电，称为跨步电压触电。

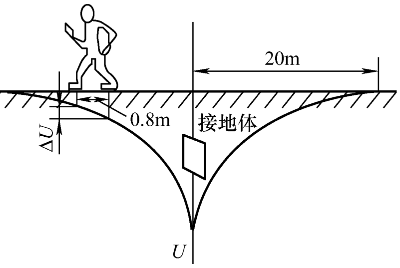


图 1-5　跨步电压

2）接触电压触电　用电设备因一相电源线绝缘损坏

碰到设备外壳时，接地电流自设备金属外壳通过接地体向四周大地形成半球状流散。其电位分布以接地体为中心向周围扩散，距接地体 20m 左右处的电位为零。此时，当人体触及漏电设备外壳时，因人体与脚处于不同的电位点，就会承受电压，此电压称为接触电压。人体因接触电压而引起的触电，称为接触电压触电。

接触电压和跨步电压与接地电流、土壤电阻率、设备接地电阻及人体位置有关。接地电流较大时，就会产生较大的接触电压和跨步电压，发生触电事故。

3）其他类型触电　包括静电电击、残余电荷电击、雷电电击、感应电压电击等。

四、家庭安全用电常识

1）入户电源线避免过载使用，破旧老化的电源线应及时更换，以免发生意外。

2）入户电源总熔断器与分户熔断器应配置合理，使之能起到对家用电器的保护作用。

3）接临时电源要用合格的电源线、电源插头、插座要安全可靠。损坏的不能使用，电源线接头要用胶布包好。

4）临时电源线临近高压输电线路时，应与高压输电线路保持足够的安全距离（10kV 及以下 0.7m；35kV，1m；110kV，1.5m；220kV，3m；500kV，5m）。

5）严禁私自从公用线路上接线。

6）线路接头应确保接触良好，连接可靠。

7）房间装修，隐藏在墙内的电源线要放在专用阻燃护套内，电源线的截面应满足负载要求。

8）使用电动工具如电钻等，须戴绝缘手套。

9）遇有家用电器着火，应先切断电源再救火。

10）家用电器接线必须确保正确，有疑问应及时询问专业人员。

11）家庭用电应装设带有过电压保护的调试合格的漏电保护器，以保证使用家用电器时的人身安全。

12）家用电器在使用时，应有良好的外壳接地，室内要设有公用地线。

13）湿手不能触摸带电的家用电器，不能用湿布擦拭使用中的家用电器，进行家用电器修理必须先停电源。

14）家用电热设备，暖气设备一定要远离煤气罐、煤气管道，发现煤气漏气时先开窗通风，千万不能拉合电源，并及时请专业人员修理。

15）使用电熨斗、电烙铁等电热器件。必须远离易燃物品，用完后应切断电源，拔下插销以防意外。

五、触电时的急救处理

人体触电后，由于痉挛或失去知觉等原因而本能地抓紧带电体，不能自行摆脱电源，使触电者成为一个带电体。触电事故瞬间发生，情况危急，必须实行紧急救护。统计资料表明，触电急救心脏复苏成功率与开始急救的时间有关，两者关系见表 1-3。因此，发现有人触电，务必争分夺秒地进行紧急抢救。

表 1-3　触电急救心脏复苏成功率与开始急救的时间表

施救开始时间/min	<1	1~2	2~4	6	>6
心脏复苏成功率（%）	60~90	45	27	10~20	<10

急救处理的基本原则如下：

1）发现有人触电，应尽快断开与触电人接触的导体，使触电人脱离电源，这是减轻电伤害和实施救护的关键和首要工作。

2）当触电者脱离电源后，应根据其临床表现，实行人工呼吸或胸腔处施行心脏按压法急救，按动作要领操作，以获得救治效果。同时迅速拨打120，联系专业医护人员来现场抢救。

3）抢救生命垂危者，一定要在现场或附近就地进行，切忌长途护送到医院，以免延误抢救时间。

4）紧急抢救要有信心和耐心，不要因一时抢救无效而轻易放弃抢救。

5）抢救人员在救护触电者时，必须注意自身和周围的安全，当触电者尚未脱离触电源，救护者也未采取必要的安全措施前，严禁直接接触触电者。

6）当触电者所处位置较高时，应采取相应措施，以防触电者脱离电源时从高处落下摔伤。

7）当触电事故发生在夜间时，应该考虑好临时照明，以方便切断电源时保持临时照明，便于救护。

第3节　节电相关法规摘选

一、通用法律法规及政策

1）中华人民共和国节约能源法：1997年11月1日第八届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议审议并通过；2007年10月28日第十届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议修订，并于2008年4月1日开始实施。共7章87条。新修订的《节约能源法》设专节规定了工业节能、建筑节能、交通运输节能、公共机构节能和重点用能单位节能，健全了节能标准体系和监管制度，设专章规定了激励措施。它的实施，将为实现节能降耗提供必要的法律保障，是我国节约能源方面的一部牵头的法律。

2）节约用电管理办法：2000年12月29日，国家经济贸易委员会、国家发展计划委员会以国经贸资源〔2000〕1256号印发《节约用电管理办法》。该《办法》分总则、节约用电管理、电力需求侧管理、节约用电技术进步、奖惩、附则6章29条，自发布之日起施行。

3）重点用能单位节能管理办法

4）节约能源监测管理暂行规定

5）能源标准化管理办法

6）中华人民共和国可再生能源法（修正案）

7）关于建立GDP能耗指标公报制度的通知

8）节能中长期规划

9）国务院关于加强节能工作的决定

10）能源产业结构调整指导目录

二、节约措施

1）财政部关于印发《节能产品政府采购实施意见》的通知

2）财政部国家发展改革委关于调整节能产品政府采购清单的通知

3）关于公布《当前国家鼓励发展的环保产业设备（产品）目录》（第一批、第二批）的通知

4）关于印发《国家鼓励的资源综合利用认定管理办法》的通知

5）关于印发《资源综合利用目录（2003 年修订)》的通知

6）国家鼓励发展的资源节约综合利用和环境保护技术

7）淘汰落后生产能力、工艺和产品的目录（共 3 批）

8）关于控制部分高耗能、高污染、资源性产品出口有关措施的通知

9）关于加强政府机构节约资源工作的通知

10）城市节约用水管理规定

11）城市建设节约能源管理实施细则

12）民用建筑节能管理规定

13）关于新建居住建筑严格执行节能设计标准的通知

14）国务院办公厅关于进一步推进墙体材料革新和推广节能建筑的通知

15）关于印发《建设部节能省地型建筑推广应用技术目录》的通知

16）关于实施《节约能源——城市绿色照明示范工程》的通知

17）关于加强城市照明管理促进节约用电工作的意见

18）化工企业节约能源管理升级（定级）办法

19）建材工业节约能源管理办法

20）火力发电厂节约能源规定（试行）

21）关于印发《节水型城市申报与考核办法》和《节水型城市考核标准》的通知

22）建设部关于贯彻《国务院关于加强节能工作的决定》的实施意见

23）国家发展改革委关于印发固定资产投资项目节能评估和审查指南（2006）的通知

三、相关制度

1）中国节能产品认证管理办法

2）能源效率标识管理办法

3）中华人民共和国清洁生产促进法

4）清洁生产审核暂行办法

5）关于公布《国家重点行业清洁生产技术导向目录》（第一批、第二批）的通知

6）清洁发展机制项目运行管理办法

四、地方法规

各级地方政府都出台了相应的节电节能法规，这里以浙江省为例。

1）宁波市水资源管理条例（2004 年修正本）

2）浙江省实施《中华人民共和国节约能源法》办法

3）宁波市城市供水和节约用水管理条例（2004 年修正本）

4）浙江省水资源管理条例

5）杭州市建筑节能管理办法

6）杭州市再生资源回收管理办法

7）杭州市城市节约用水管理办法

第 4 节　基本用电术语

一、功率和电功率

功率是指物体在单位时间内所做的功，即功率是描述做功快慢的物理量。功的数量一定，时间越短，功率值就越大。

电功率的计算公式包括瞬时功率和平均功率。即瞬时电压和瞬时电流为 $u(t)$、$i(t)$，瞬时功率为 $p(t)$，下式无条件成立：

$$p(t)=u(t)i(t)$$

二、起动电流和冲击电流

起动电流是指电气设备（感性负载）在刚起动时的冲击电流，是电动机或感性负载通电瞬间到运行平稳，短暂时间内的电流变化量，这个电流一般是额定电流的 4 ~ 7 倍，按国家规定，为了线路的运行安全及其他电气设备的正常运行，大功率的发动机必须加装起动设备，以降低起动电流。

冲击电流是指输入电压按规定时间间隔接通或断开时，输入电流达到稳定状态前所通过的最大瞬间电流。常见的交流电动机的起动方法有直接起动，串电阻起动，自耦变压器起动，星三角减压起动及变频器起动的方法来减小对电网的影响。

三、节电器

节电器一般分为照明灯具类节电器和动力类节电器。节电器采用高压滤波和能量吸收技术，自动吸收高压动力设备反向电动势的能量，并不断回馈返还给负载，节省了用电设备从高压电网上吸取的这部分电能。另一方面利用先进的电参数优化技术、正弦波跟踪技术及纳米技术和组件，抑制和减少供电线路中的冲击电流、瞬变及谐波的产生，净化电源、提高高压电网的供电品质，大幅降低线路损耗及动力设备的铜损和铁损，提高高压用电设备的使用寿命和做功效率，在使用过程中既节省了电能又可大幅降低设备运营成本。

四、变频器

变频器是应用变频技术与微电子技术，通过改变电动机工作电源频率方式来控制交流电动机的电力控制设备。变频器主要由整流（交流变直流）、滤波、逆变（直流变交流）、制动单元、驱动单元、检测单元微处理单元等组成。变频器靠内部 IGBT 的开断来调整输出电源的电压和频率，根据电动机的实际需要来提供其所需要的电源电压，进而达到节能、调速的目的。另外，变频器还有很多的保护功能，如过电流、过电压、过载保护等。随着工业自动化程度的不断提高，变频器也得到了非常广泛的应用。

第2章 家用电器与生活用电节电案例

导读

随着家用电器的普及，家电能耗呈攀升之势，有些地区家用电器耗电量已经超过当地总用电量的16%。家电节能以及相关的环保问题越来越受到关注。以照明为例，国家从政策层面已经规定按照功率大小分阶段逐步禁止销售普通照明白炽灯，这将促使照明电器行业结构优化升级。本章主要介绍了家电中加热类、制冷类、风机类、照明类等各种常见电器的节电方法或措施，并对节能家电的选用提出了一些建议。总之，应该按照自己家庭的实际需要去综合考虑，尽量做到节能省电。

案例1　家电待机模式的合理选择

1. 概述

当今，现代家庭中用电设备在大量使用，而许多用电设备在不使用时，并未完全关断电源，且处于待机状态下，所以仍在消耗电能。尽管每一台电器的待机电流、待机功率很小（如一台空调的待机功率仅为3W左右），并不被人们关注，但随着时间的累积其耗电量是惊人的。

据资料显示，目前我国城市家庭的平均待机能耗相当于这些家庭每天不间断地使用一盏15～30W的白炽灯，待机能耗占家庭电能消耗的3%～13%，全国待机能耗相当于我国几个大型火力发电厂的发电总量。

家庭用电设备待机耗电，如同未被关紧的水龙头，宝贵的资源在无声无息、日积月累地无效消耗，所以不符合当今社会低碳节能，绿色环保的要求。

2. 家电待机模式下的耗电分析

家用电器的待机电流值非常小，一般是mA级的。以文献［1］所提供的常用家用电器抽样测量为依据给出表2-1，尽管这只是参考数据，但是却能说明一些问题。同一类型的家用电器，由于品牌、规格、生产年代的不同，其待机电流值会有很大的差异，无法得到一个标准值。

表2-1　家用电器待机电流值

设备名称	待机电流测量值/mA	待机电流平均值/mA	待机耗电功率/W	24h待机耗电量/kW·h
笔记本电脑	11～87	43	10	0.24
电视机	19～106	53	12	0.29
DVD机	10～34	27	6	0.14
微波炉	2～3	2.5	0.6	0.01
空调	10～23	16	4	0.10
洗衣机	7～15	10	2	0.05
调制解调器+无线路由器	52～81	61	13	0.31
音响	7.3～60	30	7	0.71
电视机顶盒	116～134	126	28	0.67

由表2-1数据看出，待机耗电量相对比较大的家用电器为电视机顶盒、调制解调器+无线路由器、电视机、笔记本电脑。

电热水器（水箱式）、电饮水机等电器在待机时处于间歇工作方式，其测量结果见表2-2。

表2-2　电加热类型电器待机耗电量

设备名称	每小时待机耗电量/kW·h	24h待机耗电量/kW·h
电饮水机	0.02	0.48
电热水器（水箱式）	0.0036	0.09

表 2-2 中的耗电量值为在不使用状态下（仅保温）的数值，电饮水机的待机耗电量是较高的，应当特别关注。电热水器的待机耗电量相对较小，尽管它的有效使用时间很少，但往往是一年 365 天均处于开机状态，一年的待机耗电量将达 33kW · h。

3. 家用电器待机状态的合理性分析

从使用者角度出发，哪些情况下家用电器待机状态的设置是合理的，而哪些情况下家用电器待机状态的设置是不合理的。以壁挂式空调为例，由于其安装位置在高处，不方便拔掉空调主机电源插头，多使用遥控器进行操作。空调处于待机状态时，控制电路中的电源部分、红外接收部分、温控部分、继电器、风量控制和风扇电动机及集成块等，均在待机状态，时刻准备着被遥控器“叫醒”。红外接收管接收由红外遥控器发出的“关”或“开”指令，由集成电路判别并指令各执行部分处在一个相对稳定的工作状态，该工作状态需要 16V 和 5V 电源的供电才能维持正常工作。这部分电量就是我们所指的“待机能耗”。在需要使用空调的时间段内，使其处于待机状态是合理的。

电视机多使用遥控器进行操作，如果要频繁操作机上开关是不太方便的。因此，在可能观看电视的时间段内，使其处于待机状态是合理的。DVD 机、音响设备是不经常使用的设备，也许一个星期甚至一个月也未使用，使其长期处于待机状态是不合理的；有些电器偶尔使用，即使使用也是短时的，如洗衣机、微波炉等，在不使用定时开启功能的情况下，长期处于待机状态亦是不合理的；电饮水机，家中无人时如不关断电源，由于其处于保温工作状态而反复加热，亦是不合理的。

案例 2　电磁炉的节电

1. 工作原理概述

电磁炉又名电磁灶，是现代厨房革命的产物，它不需明火或传导式加热而让热直接在锅底产生，因此热效率得到了极大的提高，是一种完全区别于传统所有的有火或无火传导加热厨具。图 2-1 所示为电磁炉外观。

图 2-2 所示为电磁炉的工作示意。电磁炉是采用磁场感应涡流加热原理，它利用电流通过线圈产生磁场，当磁场内之磁力通过含铁质锅底部时，即会产生无数之小涡流，使锅体本身自行高速发热，然后再加热于锅内食物。电磁炉工作时产生的电磁波，完全被线圈底部的屏蔽层和顶板上的含铁质锅所吸收，不会泄漏，对人体健康绝对无危害。

图 2-1　电磁炉外观

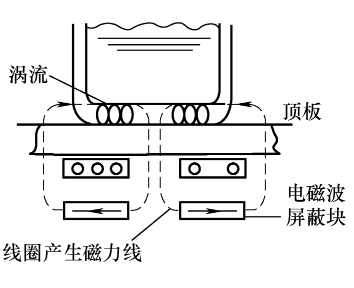


图 2-2　电磁炉工作原理

2. 电磁炉能耗现状

尽管与传统的燃气灶相比，电磁炉已经具有非常大的节能空间，但是用户在实际选择和

使用不同品牌、不同型号的电磁炉时，就经常会出现能耗会不一样。

图 2-3 所示是对 6 种不同品牌的电磁炉在把 2L（升）水加热至沸腾所需的时间和耗电量测试示意。表 2-3 中是具体的时间和耗电量。

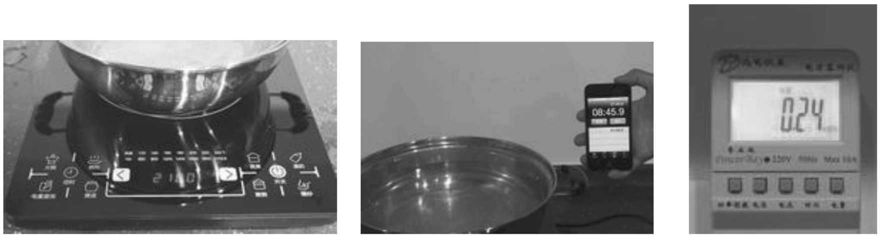


图 2-3　电磁炉能耗测试

表 2-3　不同电磁炉的能耗情况

型　号	实测功率/W	加 热 时 间	耗电量/kW · h
A	2100	6min54s	0. 25
B	1717	7min49s	0. 23
C	1948	6min39s	0. 24
D	1637	8min45s	0. 24
E	1818	7min32s	0. 22
F	1936	6min29s	0. 21

在热效率测试上，6 款电磁炉的实测功率与额定功率均有偏差，综合加热时间和耗电量两者考虑，热效率最高的是型号 F 的电磁炉。

3. 电磁炉的节电小窍门

以下有 3 种方法让电磁炉更省电：

1）使用电磁炉时，食物煮到八分熟就可以拔下电源，利用余温煮熟食物。一年下来，也能节省近百千瓦时电。

2）为电磁炉配一口合适的锅，也是省电的好办法之一。使用电磁炉时，应选用导磁性能较好的材料制成的容器，如铁皮锅、铸铁锅、含铁不锈钢锅等含铁量高或底部是含铁材料的锅。

3）所选购的锅具应是平底的，锅底面积与电磁炉炉面面积差不多大为好。对锅具加热时，应先采用大功率档，开锅时及时把功率档调至小档，能使锅内保持开锅就好，冬天吃火锅时更应如此。因为大功率档不但浪费电能，还会使汤水在大火力下沸腾溢出，造成危险并使锅底结锅巴。

案例 3　电饭煲的节电

1. 工作原理概述

电饭煲，又称作电锅、电饭锅，是利用电能转变为内能的炊具，使用方便、清洁卫生，还具有对食品进行蒸、煮、炖、煨等多种操作功能。常见的电饭锅分为保温自动式、定时保温式以及新型的微电脑控制式三类。现在已经成为日常家用电器，电饭煲的发明缩减了很多家庭花费在煮饭上的时间。图 2-4 所示为某微电脑控制式电饭煲外观示意。

图 2-4　微电脑控制式电饭煲外观示意

图 2-5 所示是一种双层自动保温式电饭锅的结构图，主要由锅盖、外壳、内胆、开关、发热板和温度控制装置组成。下面介绍它的主要部件：

1）内胆系采用纯铝板拉伸成型，底部加工呈球面状，使之与发热板很好吻合，以提高热效率。胆的内壁上有刻度，可指示出放米量和放水量。内胆的边向外翻口，既可增加强度，又可使溢出的饭水流到壳外，以防损坏内部电器零件。

2）外壳是用冷轧薄钢板拉伸成型，外面喷涂装饰性漆层。外壳与内胆之间有一层空气间隔，起保温作用，同时可以安装开关、发热板和温度控制装置。

3）有的锅盖中央部位嵌有一块玻璃，能观察烹饪情况；有的装有压紧锅盖用的手柄，兼具便携作用。

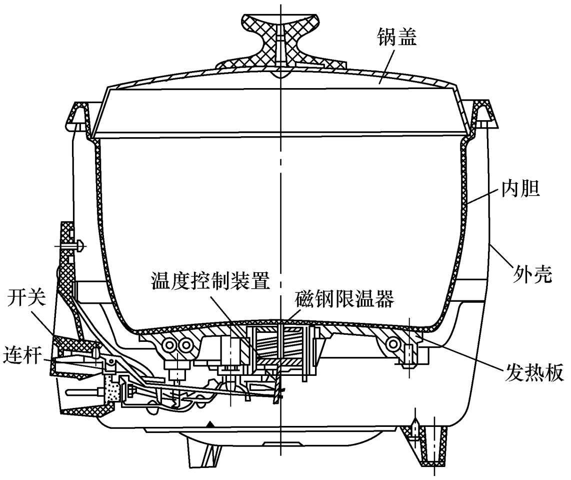


图 2-5　双层自动保温式电饭锅的结构图

4）发热板是将环形金属管状电热元件铸造在铝合金体中，再经加工而成，它具有较好的热传导性能和较大的机械强度，板面形状要求与锅底相吻合，在其中心处装有磁性温度控制元件。

5）电饭锅之所以能够自动断电和保温，是因为它内部装有磁钢限温器和热双金属片恒温器两个自动装置。

2. 电饭煲的热效率

对于电饭煲来说，其热效率一般定义为，在按要求规定的工作条件下，在规定时间内试验用水所获得的热量与该段时间所消耗电能（量）的当量之比。

电饭锅热效率的试验方法如下：

测试时，初始水温应与环境温度一致，用称重法向内锅加水，达内锅额定容积的 80%，测量初始水温 T_1，将热电偶穿过锅盖，应不影响电饭锅的正常煮饭状态，设法将热电偶测

温点固定在内锅距底部中心点 10mm 处，然后按规定通电，并用电能表测量电饭锅的耗电能（量）。当内锅水温升到 95℃时，立即切断电源，读取耗电能（量）。断电后，由于发热板的热容量及滞后原因，内锅水温在断电后还会上升，观察水温升高到下降为止，读取内锅中水温最高温度值 T_2。按公式（2-1）计算热效率：

$$\eta = \frac{1.16G_1(T_2 - T_1)}{E}100\% + \frac{CG_2(T_2 - T_1)}{3.6E}100\% \tag{2-1}$$

式中 η——热效率（%），准确到 0.1%；

G_1——试验前水量（kg）；

T_1——试验前初始水温（℃）；

T_2——试验后最高水温（℃）；

C——内锅材料的比热（kJ/kg·K）；

G_2——内锅质量（kg）；

E——耗电能（量）（Wh）。

3. 电饭煲的节能小窍门

电饭煲节能的小窍门主要有以下几种：

1）要充分利用发热板的余热。当电饭锅中的米饭汤沸腾时，可关闭电源开关 8 ~ 10min，充分利用发热板的余热后再通电。当电饭锅的红灯灭、黄灯亮时，表示锅中米饭已熟，这时可关闭电源开关，利用发热板的余热保温 10min 左右。

2）避免用电高峰。同样功率的电饭锅，当电压低于其额定值 10% 时，则需延长用电时间 12% 左右，用电高峰时最好别用或者少用。

3）内锅底与发热板、内锅及锅盖均应保持最佳接触。若内锅变形，即内凹或外凸，均会影响内锅底部的良好接触，应及时矫正才好。

4）在日常使用完电饭煲后，最好放在桌面上保存，防止灰尘进入电饭煲的底部，也不要把电饭煲放在厨房或者容易被水喷溅到的地方，以免影响电饭煲的使用安全。使用过程中还应该保证，电饭煲内胆和发热板之间的清洁，避免出现水点、饭粒等杂物，这样会影响煮饭的效果，严重时有烧坏元器件的可能。

5）在购买了较大功率的电饭煲后，一定不要让它和其他电器共用一个组合插座，这样会导致插座容量不够，使电源线温度过高，发生危险。电饭煲在使用后，一定要记得把插头从插座上拔下来，通常情况下电饭煲都拥有自动保温功能，插上电源后，即使没有在煮饭状态下，电饭锅也会处在保温状态，造成对电能的浪费。

6）做米饭时最好将米淘净在清水中浸泡 15min 左右，然后再下锅，这样可以大大缩短煮饭的时间，且煮出的米饭特别香。假若缩短的时间为 10min，以一个 700W 的电饭煲计算，一天煮三顿饭可节省电量 0.35kW·h。

7）保持内锅外锅清洁。电饭锅使用过久而又不及时清洁的话，会使内锅底部与外表面聚一层氧化物，应把它浸在水中，用较粗糙的布擦拭，直到露出金属本色光泽为止。

8）功率大的电饭煲，省时又省电。煮 1kg 的饭，500W 的电饭煲需 30min，耗电 0.27kW·h；而用 700W 电饭煲约需 20min，耗电共 0.23kW·h。同时在电饭煲用完后，一定要拔下电源插头，不然锅内温度下降到 70℃以下时，它会断断续续地自动通电，比较费电。据了解，保温的是小功率约 15W 左右，饭熟后电饭煲每多开一小时将耗电

0.015 kW·h。

案例4　微波炉的节电

1. 工作原理概述

微波炉就是用微波来煮饭烧菜的，是一种用微波加热食品的现代化烹调灶具（见图2-6）。

微波炉的主要部件包括：门安全联锁开关，确保炉门打开，微波炉不能工作，炉门关上，微波炉才能工作；视屏窗，有金属屏蔽层，可透过网孔观察食物的烹饪情况；通风口，确保烹饪时通风良好；转盘支承，带动玻璃转盘转动；玻璃转盘，装好食物的容器放在转盘上，加热时转盘转动，使食物烹饪均匀；控制板，控制各档烹饪；炉门开关，按此开关，炉门打开。

微波是一种电磁波。这种电磁波的能量不仅比通常的无线电波大得多，而且还很有“个性”：微波一碰到金属就发生反射，金属根本没有办法吸收或传导它；微波可以穿过玻璃、陶瓷、塑料等绝缘材料，但不会消耗能量；而含有水分的食物，微波不但不能透过，其能量反而会被吸收。

微波炉正是利用微波的这些特性制作的。微波炉的外壳用不锈钢等金属材料制成，可以阻挡微波从炉内逃出，以免影响人们的身体健康。装食物的容器则用绝缘材料制成。微波炉的心脏是磁控管（见图2-7）。这个叫磁控管的电子管是个微波发生器，它能产生每秒钟振动频率为24.5亿次的微波。这种肉眼看不见的微波，能穿透食物达5cm深，并使食物中的水分子也随之运动，剧烈的运动产生了大量的热能，于是食物“煮”熟了。这就是微波炉加热的原理。用普通炉灶煮食物时，热量总是从食物外部逐渐进入食物内部的。而用微波炉烹饪，热量则是直接深入食物内部，所以烹饪速度比其他炉灶快4~10倍，热效率高达80%以上。目前，其他各种炉灶的热效率无法与它相比。

图2-6　微波炉外观

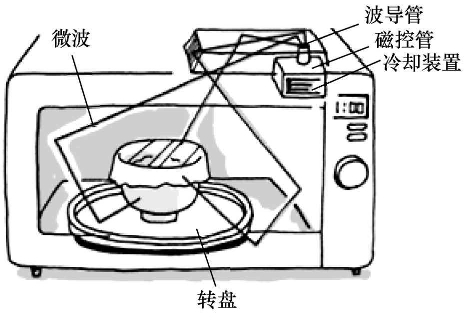


图2-7　微波炉的工作原理

2. 微波炉的节能小窍门

微波炉的功率一般是500~1500W之间，虽算不上是家中的耗电大户，但由于使用频繁，耗电量也是相当可观的，微波炉的节电要点主要有以下几个方面：

1）减少启动次数。微波炉的功率虽只在850W左右，但由于启动电流大，一般启动时可达1000W左右。因此，在使用微波炉的过程中，要尽快掌握各种菜肴的烹调时间，减少关机观看的次数，做到一次启动，烹调完毕。

2）根据烹调菜肴的品种，选择适当的微波强度。需保持嫩脆、色泽的肉片或蔬菜等，宜选用强微波烹调；炖肉、煮汤、熬粥等则用中档强度的微波进行长时间烹调，中微波档所耗电能是强微波档的一半。

3）在使用较小的容器做饭菜或热剩饭菜时，为减少开关机次数，可在转盘上同时放置2～3个容器，开机设置时间可增加1～2min。

4）烹调的菜肴数量一次不宜过多。一个菜以不超过0.5kg为宜，否则不仅费电还会造成表面的菜过火变色，生熟不均，即使中间停机翻搅，也是不理想的。另外，有一点需要特别注意，人体最易受微波伤害的部位是眼睛的水晶体。因此，在使用微波炉时，不要把脸贴近炉门的玻璃观察窗观看食品的烧煮情况，以免微波伤害眼睛。

5）加热时间要配合微波炉的功率来设定。微波炉对于现代人来说真的是相当便利。它的尺寸大小规格不同，加热时间也跟着改变。有时候即使你已经将厨房指南都背熟了却还是会失败。所以，一定要确认瓦（W）数。这里以600W的微波炉为例加以说明，若您的微波炉是500W的话要加上25%、400W的话要加上50%的时间。例如，600W加热1min的话，500W是1min15s、400W则是1min30s。

6）为了方便记住，以100g为加热时间的定位。微波炉的加热时间是依照一般食物的量来加成。就是100g的东西要加热1min，而200g的东西自然就是要花2min加热。100g为加热时间标准，圆白菜或菠菜等叶菜类要1min，马铃薯、莲藕等根菜要2min，鱼或肉要1min30s～2min。这是不变的标准。由于微波炉各有不同性能，所以依据其不同性能，再将时间加减调整即可。

案例5　电热水器的节电

1. 概述

以电作为能源进行加热的热水器通常称为电热水器（见图2-8）。它是与燃气热水器、太阳能热水器相并列的三大热水器之一。这里以封闭储水式电热水器为例进行介绍，它的工作原理非常简单，使用一根电加热管，通电之后给水提供热量。内胆储存热水并承载压力0.6MPa，外壳保温。产品间的区别首先体现在加热管上，有浸没型的，即直接与要加热的水接触，也有隔离型的。加热管有1.2kW、1.5kW及2.5kW等功率可供选择。加热管由一个温控器来控制，能设定所需温度并保持内胆中的水温恒定，且在40～75℃范围内可调。定时产品系列的时间控制系统能带来最大限度的能源节省，再配以分时电能表，可节省大量电费。电热水器必须安装压力安全阀，以确保超压泄压。为了尽可能减少热量散失，在壳与内胆之间还采用了聚氨酯或高密度泡沫塑料的加厚保温层。

图2-8　电热水器的外观

2. 电热水器的节电方法

有数据表明，一个三口之家，如果用60L的电热水器，日耗电量在1.5kW·h以上；如果是采用了先进的保温技术通过节能认证的产品，它的日耗电量会在1.2kW·h以下。根据经验，对于电热水器来说，保温技术是事关节能与否的一个最重要的技术，保温就意味着节能、省钱。当然，保温是要讲条件的，首先是要断电，在断电的情况下来判定其保温效果的

好坏。

如果消费者购买了一台保温效果比较好的电热水器，正确的使用方法是什么呢？一个生活中常见的误区就是断电，特别是频繁地断电，这是消费者在使用过程中一个最大的误区。真正节能的电热水器是不需要频繁地把电源切断的，因为它有有效的保温技术，比如中温保温、多段定时加热等，都是具有高科技含量的节能设置，比消费者自己计算的省电方法要更为科学，但都需要在电源通电的情况下完成。频繁地拔掉插头还会减少插头的寿命，带来安全隐患。

正确的使用方法应该是，如果每天使用热水器，那么不要切断电源；如果是 3 ~ 5 天或更长时间才使用一次，则用后断电是更为节能的做法。

案例 6　电熨斗的节电

1. 工作原理概述

电熨斗是平整衣服和布料的工具，功率一般在 300 ~ 1000W 之间。它的类型可分为普通型、调温型、蒸汽喷雾型等。普通型电熨斗结构简单、价格便宜、制造和维修方便。调温型电熨斗能在 60 ~ 250℃范围内自动调节温度，能自动切断电源，可以根据不同的衣料采用适合的温度来熨烫，比普通型来得省电。蒸汽喷雾型电熨斗既有调温功能，又能产生蒸汽，有的还装配上喷雾装置，免除了人工喷水的麻烦，而衣料润湿更均匀，熨烫效果更好。衣服整洁了，可是浪费的不少电换来的，下面操作既省电又很快熨烫好衣服。图 2-9 所示为电熨斗的外观与结构。

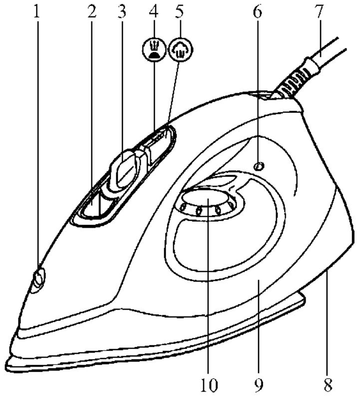


图 2-9　电熨斗外观与结构

1—喷雾嘴　2—加水口　3—蒸汽控制
。= 无蒸汽　= 中等蒸汽量　= 最大蒸汽量
· = 除水垢功能　4—喷雾按钮
5—蒸汽喷射　6—温度指示灯　7—电源线
8—型号牌　9—水箱　10—温度旋钮

2. 电熨斗的节电方法

电熨斗的节电方法有以下三种：

1）家用电熨斗通常有调温型和普通型。前者比较利于节约用电。普通型电熨斗也最好选择手柄上有开关的，可随时控制温度，降低电耗。

2）应根据不同衣料所需要的温度随时掌握电熨斗的通电时间。

3）充分利用电熨斗的余热，也是节约用电的一个途径。如在熨烫毛料服装正面时，需要较高的温度，当熨烫反面时，则需要较低温度。

案例 7　电热水壶的节电

1. 工作原理概述

图 2-10　电热水壶的外观

图 2-10 所示为电热水壶采用的是蒸气智能感应控温，具有水沸腾后自动断电、防干烧断电的功

能。随着生活的需要，现在的电热水壶也正在向多功能方向发展，如防漏、防烫、锁水等。电热水壶具有加热速度快，保温效果好，过滤功能强，式样多等优点。

2. 电热水壶的节电方法

电热水壶的节电方法包括如下两点：

1）及时清除电热水管上的水垢。

2）自动控温装置或保温装置的电水壶，应该注意其控温是否灵活可靠。

案例8　饮水机的节电

1. 工作原理概述

饮水机是将桶装纯净水（或矿泉水）升温或降温并方便人们饮用的装置。图2-11所示为饮水机的外观。

常见的饮水机以温热型饮水机为主。当热罐内的水被加热到设定的温度时，温控器触点断开，切断加热及加热指示回路电源，“加热”指示灯熄灭，电热管停止加热。当水温下降到设定温度时，温控器触点接通电源回路，电热管重新发热，如此周而复始地使水温保持在85~95℃之间。

图2-11　饮水机外观

2. 饮水机的节电方法

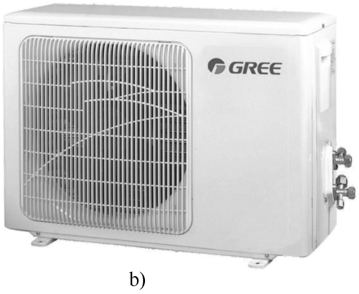
饮水机的待机耗电非常厉害，因此要养成随手关闭饮水机的习惯，因为反复循环加热不仅影响饮水机使用寿命，且影响水质，另外及时清洗电热管上的水垢也能起到省电的作用。

案例9　普通分体式空调的节电

1. 工作原理概述

空调即空气调节器。普通分体式空调是一种用于给空间区域（一般为密闭）提供处理空气温度变化的机组，分为壁挂式、立柜式等。图2-12所示为普通分体式空调的室内机和室外机。

a)



b)

图2-12　普通分体式空调

a）室内机　b）室外机

空调的功能是对该房间（或封闭空间、区域）内空气的温度、湿度、洁净度和空气流速等参数进行调节，以满足人体舒适或工艺过程的要求。工作回路中分蒸发区和冷凝区，室内机和室外机分别属于高压或低压区。压缩机一般装在室外，压缩机把制冷剂从低压区抽取来经压缩后送到高压区冷却凝结，通过散热片散发出热量到空气中，制冷剂也从气态变成液

态，压力升高。制冷剂再从高压区流向低压区，通过毛细管喷射到蒸发器中，压力骤降，液态制冷剂立即变成气态，通过散热片吸收空气中大量的热量。这样，机器不断工作，就不断把低压区一端的热量吸收到制冷剂中再送到高压区散发到空气中，起到调节气温的作用。具体原理如图 2-13 所示。

2. 普通分体式空调的节电方法

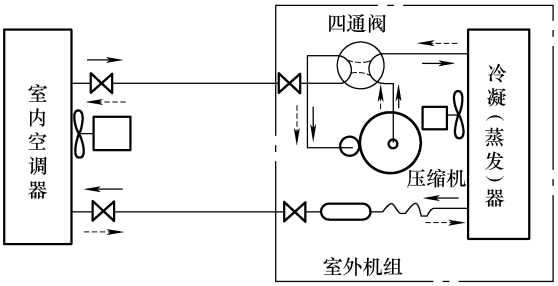


图 2-13　空调原理

如何使用空调最省电，怎样实现空调省电又降温就成了人们普遍关注的话题。其实空调省电窍门有很多，包括温度调节、使用注意事项等。

1）设定适当的温度：空调制冷时，不要设置过低温度，若把室温调到 26 ~ 27℃，其冷负载可以减少 8% 以上。实践证明，对静坐或轻度劳动的人来说，室温保持在 28 ~ 29℃，相对湿度保持在 50% ~60%，人并不感到闷热，也不会出汗，它应属于舒适性范围。人在睡眠时，代谢量减少 30% ~50%，可将空调设于睡眠开关档，设置温度高 2℃，可达到节电 20%；冬季制热，温度设置低 2℃，也可节电 10%。

2）改进房间的维护结构：对一些房间的门窗结构较差、缝隙较大的，可做一应急性改善；如用胶水纸带封住窗缝、在玻璃窗外贴一层透明的塑料薄膜、采用遮阳窗帘、室内墙壁贴木丝板塑料板、在墙外涂刷白色涂料减少外墙冷耗。

3）避免阳光直射：在夏季，遮住日光的直射，可节电约 5%，在使用空调的时候我们可以拉上窗帘，或者在阳台上加一个遮阳的斗篷。

4）保持空调通风口的通畅：空调出风口不要堆放大件家具阻挡散热，空调出风口通畅不但可以让空调快速的调节室内温度，同时也可能因为空调出风不畅造成的多耗电的情况。

5）按需选购：根据自己的使用面积来挑选空调，如果说买一个小匹数的空调来对一个较大的环境进行制冷，那么空调会一直处于过负载状态，并且会加大产品耗电量。

6）过滤网要经常清洗：太多的灰尘会塞住网孔，使空调加倍费力，通风口堵塞容易造成换热过慢，热量排不出去，增加空调的使用功率。

7）开空调时关闭门窗，出门提前关空调：空调房间不要频频开门，以减少热空气渗入；少开新风门当室内无异味时可以不开新风门，可以节省 5% ~8% 的能量；提前关空调，离家前十分钟，即关冷气，这样并不会影响制冷效果，一般房间冷气可以保持在 15min 左右，这样也可以节省电能。

案例 10　变频空调的选用

1. 工作原理概述

变频空调是在普通空调的基础上选用了变频专用压缩机，增加了变频控制系统。它的基本结构和制冷原理和普通空调完全相同。变频空调的主机是自动进行无级变速的，它可以根据房间情况自动提供所需的冷（热）量；当室内温度达到期望值后，空调主机则以能够准确保持这一温度的恒定速度运转，实现“不停机运转”，从而保证环境温度的稳定。变频空调也是国内应用最多的一种变频家电。

采用交流变频方式的空调器压缩机必须使用三相感应电动机才能通过改变压缩机供电的频率来控制它的转速。变频压缩机的电动机必须与控制驱动电路相对应，典型的变频电路如图 2-14 所示。在变频过程中，为了使空调器的制冷或制热能力与负载相适应，控制系统将根据检测到的室温和设定温度的差值，通过微处理器运算，产生控制运转频率变化的信号。这个频率可变的运转控制信号通过逆变器产生脉冲状的模拟三相交流电压，并将该电压加到压缩机的三相感应电动机上，使压缩机的转速发生变化，从而控制压缩机的排量，调节空调器的制冷量或制热量。

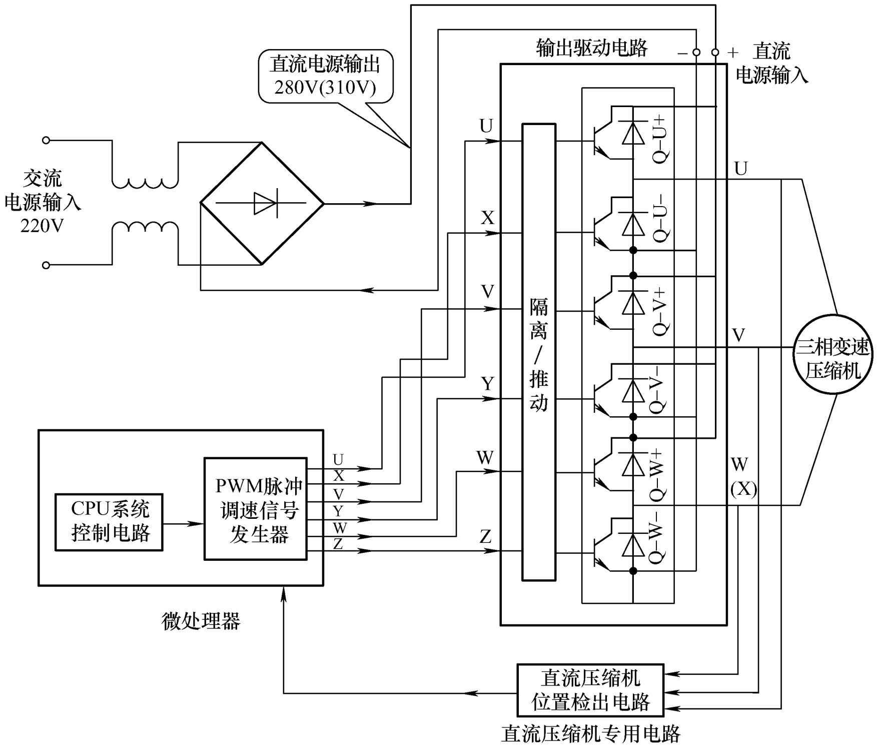


图 2-14　典型的变频空调电路

2. 变频空调的优点

变频空调的优点很多，主要如下：

1）节能：由于变频空调通过内装变频器，随时调节空调机心脏——压缩机的运转速度，从而做到合理使用能源；由于它的压缩机不会频繁开启，会使压缩机保持稳定的工作状态，这可以使空调整体达到节能 30% 以上的效果。同时，这对噪声的减少和延长空调使用寿命，有相当明显的作用。

2）噪声低：由于变频空调运转平衡，振动减小，噪声也随之降低。

3）温控精度高：它可以通过改变压缩机的转速来控制空调机的制冷（热）量。其制冷（热）量有一个变化幅度，如 36GW 变频的制冷量变化为 360～400W，制热量变化为 300～6800W，因此室内温度控制可准确到 ±1℃，使人体感到很舒适。

4）调温速度快：当室温和凋定温度相差较大时，变频空调一开机，即以最大的功率工作，使室温迅速上升或下降到调定温度，制冷（热）效果明显。

5）电压要求低：变频空调对电压的适应性较强，有的变频空调甚至可在150～240V电压下起动。

6）环境温度要求低：变频空调对环境温度的适应性很强，有的产品甚至可在－15℃的环境温度下起动。

案例11　户式中央空调的节电

1. 工作原理概述

户式中央空调是一个小型化的独立空调系统。在制冷方式和基本构造上类似于大型中央空调。由一台主机通过风管或冷热水管连接多个末端出风口，将冷暖气送到不同区域，来实现室内空气调节的目的。它结合了大型中央空调的便利、舒适、高档次以及传统小型分体机的简单灵活等多方面优势，是适用于别墅、公寓、家庭住宅和各种工业、商业场所的暗藏式空调。图2-15所示为户式中央空调的布局。

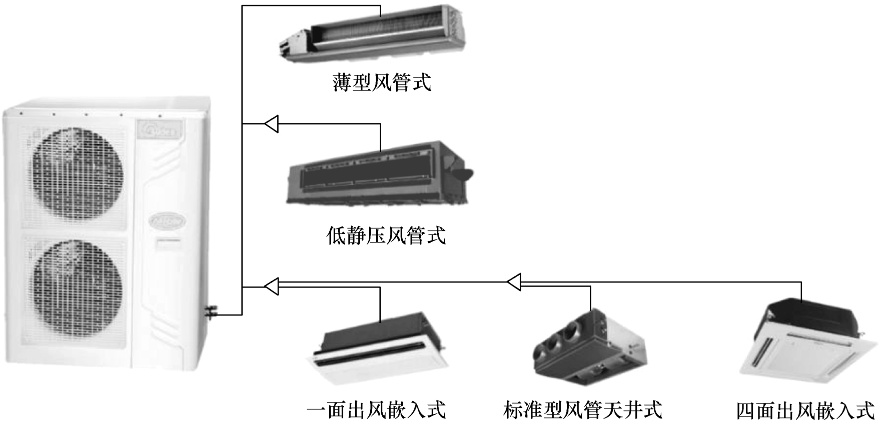


图2-15　户式中央空调的布局

户式中央空调按工作原理（输送冷/热负载的介质）的不同可分为风管道系统、水管道系统和制冷剂系统三大类型。

1）户式风管式中央空调（冷/热风机组），简称“风管机”。

风管式中央空调系统以空气为系统冷/热负载的输送介质，由室外主机集中产生冷/热量并送至室内机，通过室内机将室内的回风进行冷/热处理后通过风管再送入室内，从而达到调节室内空气环境的目的。

2）户式水管式中央空调（风冷冷/热水机组），简称“水管机或水机”。

水管式中央空调系统以水或者乙二醇溶液为系统冷/热负载的输送介质，它由系统主机产生冷/热水，并通过管路系统送至各末端的风机盘管，由风机盘管内的冷/热水与室内空气进行能量交换，从而达到调节室内空气环境的目的。

3）户式制冷剂式中央空调（VRV系统），简称“变频-拖多”。

VRV系统即变频制冷剂流量系统。变频制冷剂流量（VRV）空调系统根据室内机数量多少可分为单元式和多元式两种类型，而户式制冷剂式中央空调就是指多元式变频制冷剂流量空调系统即变频多联体机组（对于非变频一拖多空调系统，业内人士目前还仅仅把它归

为普通家用空调类，不能与中央空调相提并论）。它以氟利昂等制冷剂作为系统冷/热负载的输送介质，室内机由直接蒸发式换热器和风机盘管组成。一台室外机可通过管路向若干个室内机输送制冷剂液体，并根据室内环境的情况通过控制压缩机的制冷剂循环量和进入室内机的制冷剂流量来实现调节室内空气环境的目的。

户式中央空调除了上述三种主要类型外，还有户式燃气空调、地源（水源）热泵空调等。

2. 户式中央空调的节电方法

如何降低能耗、节约开支成为用户关心的一大热点。对此，长期从事空调安装和研究的姚国琦、寿炜炜等专家提醒人们，节能除要选择运行稳定、能效比高的空调机组外，还要在空调系统的设计、机组的布置上采取节能措施。

这些专家认为，首先要注意室外机组的布置。室外机组应布置在空气流通的地方，避免将室外机安装在阳光直射的地方；当有大量室外机需要布置时，应注意不要形成垂直布置造成上下干扰，使上面的机组冷凝器处在高温区。根据建筑美观要求，许多建筑物都指定了室外机组的安装位置，往往还采用美化处理手法，设置一些遮挡，但如果设置不当，就会导致排风不畅或进排风短路，保证不了散热条件。

其次，要注意房间气流组织。要合理组织房间气流，房间室内机的布置或所连接的风口的布置，应尽量使空调内机送出的冷风或暖风能遍及室内各个部位，不直接吹向人体；侧送风口应布置在房间的短边，使送风射程达到房间的每个角落，避免房间存在死角式；空调系统回风通道应尽量采用风管连接风口，尽可能不采用吊顶空间回风的方法，对于高大建筑尤其如此。再次，要注意房间空调实时控制。为了节能，每个房间都可以单独地开机与关机功能，这样可以在满足使用要求的前提下，最大限度地降低空调负载，做到节能运行。同时，每个房间都具有能自由地进行温度调节功能，防止过冷或过热造成能源浪费。对于户式中央空调的风管机系统，可根据房间的空气温度，控制每个房间送风阀的大小。虽然控制不能达到尽善尽美的地步，但还是有一些节能效果的。

最后，要注意新风、排风系统的设计。由于新风空调负载占空调总负载很大比例，新风系统的节能技术受到普遍关注，应推荐采用全热回收器，经热交换预处理的新风直接送入房内的方法。尽管该装置可能会增加一次性投资，但其总体能效比还是很有吸引力的。如果经济条件限制，也可以采用较为便宜的热回收装置，节能效果也较为显著。

案例 12　冰箱的节电

1. 工作原理概述

冰箱是保持恒定低温的一种制冷设备，也是一种使食物或其他物品保持恒定低温冷态的民用产品（见图 2-16）。箱体内有压缩机、制冰机用以结冰的柜或箱，带有制冷装置的储藏箱。

图 2-16　冰箱的外观

电冰箱的构造：家用电冰箱由箱体、制冷系统、温度控制装置三部分组成。

1）箱体：箱体的基本作用是绝热，绝热性能的优劣直接关系到箱体的保温性能。箱体的隔热功能主要是从以下几个方面来实现的：外壳与内衬之间填充绝热材料；箱门装有磁性密封条防止冷气外漏和热空气侵入；箱顶的顶板下面垫有高密度聚苯乙烯泡沫板，起隔热作用。

2）制冷系统：如图2-17所示，氟利昂在蒸发器里由低压液体汽化为气体，吸收冰箱内的热量，使箱内温度降低。变成气态的氟利昂被压缩机吸入，靠压缩机把它压缩成高温高压的气体，再排入冷凝器。在冷凝器中气态的氟利昂不断向周围空间放热，逐步液化成液体。这些高压液体必须流经毛细管，节流降压才能缓慢流入蒸发器，维持在蒸发器里继续不断地汽化，吸热降温。就这样，冰箱利用电能做功，借助制冷剂的物态变化，把箱内蒸发器周围的热量搬送到箱后冷凝器里去放出，如此周而复始不断地循环，以达到制冷目的。

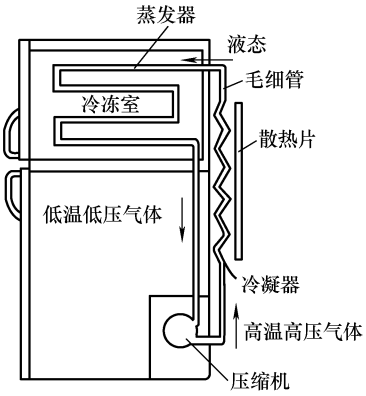


图2-17 冰箱的制冷系统

3）温度控制装置：冰箱的温度控制装置叫温度控制器。它的主要作用是当箱内温度过高时接通压缩机，使制冷系统工作，从而使箱温降下来；当箱温降至要求的温度时，使压缩机断电。

2. 冰箱的节电方法

冰箱是连续24h不停工作的家电，而其他家电多是断续工作，所以冰箱的耗电量在家庭用电中占有较大的比例。但是，只要我们合理地使用，注意方法，就能降低电冰箱压缩机的磨损，延长它的使用寿命，同时又可以减少耗电量，节省家庭的电费开支。

1）电冰箱应放在室内温度较低并且通风较好的地方，这样有利于电冰箱的散热，可以减少电冰箱压缩机的起动次数和起动时间。

2）食品一定要凉至室温后才放进冰箱，同时尽量减少电冰箱开门的次数，缩短开门的时间。

3）电冰箱内的食品与食品之间，食品与冰箱内壁之间都应留有一定的空隙，使电冰箱内的空气流通，提高制冷效果，减少压缩机的起动次数和时间。

4）定期除霜：当冷冻室的霜厚了超过5mm制冷效果就会变差，压缩机相对工作的时间就会延长，因而耗电就相对增大。

5）当天气转暖时，室温达到15℃以上时应将冰箱的节电化霜开关拨到关的位置，这样也可减少耗电。

6）正确调整电冰箱的温度控制器，以减少耗电。电冰箱温度控制旋钮上都分别标有数字，它代表着对冰箱内温度的控制范围。所标的数字越小则控制温度越高。不同季节温控器的指示范围为，夏季3～4；春秋季2～3；冬季4～5，当室温低于10℃时，温控器应拨到“6”的位置。

7）定期清除冷凝器上的灰尘。若冷凝器长期积有灰尘就会影响电冰箱的散热，就不能有效蒸发而影响制冷效果，冰箱要达到预定温度就需要延长压缩机的工作时间，增加耗电。所以冷凝器最好两年清扫一次。

案例13 变频冰箱的选用

1. 工作原理概述

变频冰箱是日常家电中用的比较多的变频家电之一，它是以变频电源控制冰箱的压缩机转速，从而调节压缩机的制冷量，在热负载大时，压缩机制冷量大；热载荷小时，压缩机制冷量小，从而提高蒸发温度、降低耗电量。

变频冰箱的工作原理如图 2-18 所示。全系统由变频压缩机、冷凝器、过滤器、电磁阀、毛细管、蒸发器及控制器等构成。在管路系统中，在能够反映制冷剂状态的关键部位设置了温度传感器，用以检测其温度并控制变频压缩机的转速。

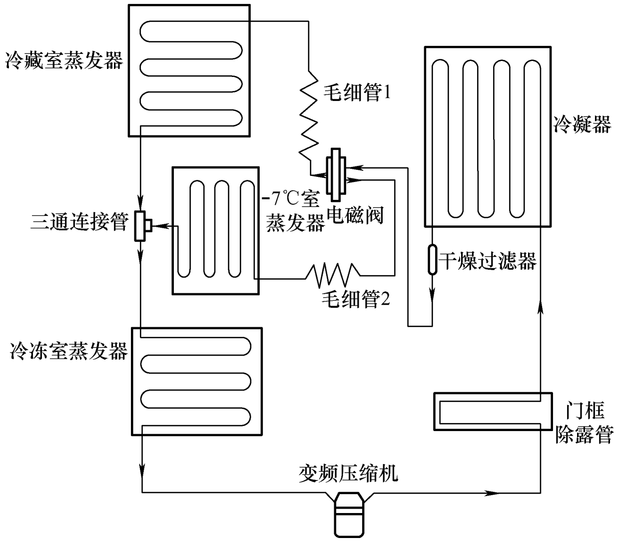


图 2-18　变频冰箱的工作原理

2. 变频冰箱的主要优点

变频冰箱的主要优点有以下几个方面：

1）节能节电：由于制冷量可调节，使得冰箱的制冷量可以与冰箱的负载良好地匹配，避免无谓的能量消耗，节能效率提高 40% 左右，与非节能冰箱相比，变频冰箱每日更是节省了 60% 的耗电量。

2）经久耐用：当冰箱所需制冷量较小时，变频压缩机可以低速运转，减少冰箱的起动次数，克服了非节能冰箱压缩机瞬时起动造成电流过大而缩短冰箱使用寿命的问题，变频冰箱的使用寿命更长久。

3）快速降温：变频冰箱在冰箱负载较大时压缩机可以高速运转实现快速降温，据测试结果表明，变频冰箱的速冻能力比普通冰箱提高 20%，达到更好的保鲜效果。

4）控温恒温：变频冰箱可通过连续调节压缩机转速，从而使冰箱内的温度控制比较精确和稳定，对食品的温度冲击变小，减少食品水分流失，保鲜期也可延长 3 ~5 天。

5）静音运行：变频冰箱不是一天 24 小时都在压缩制冷，而是冰箱里面的温度升高到一定程度后才会压缩里面的氟进行制冷，变频冰箱工作转速平滑过渡，起动时由慢到快，停机时由快到慢，不仅省电，噪声值还降低了 10% 以上，到了夜间运行几乎没有声音，避免了噪声的滋扰。

案例 14　电风扇的节电

1. 工作原理概述

图 2-19 所示的电风扇是一种利用电动机驱动扇叶旋转，来达到使空气加速流通的家用电器，主要用于清凉解暑和流通空气。它主要由扇头、风叶、网罩和控制装置等部件组成。

扇头包括电动机、前后端盖和摇头送风机构等。

2. 电风扇的节电方法

电风扇的节电方法有以下几个方面：

1）夏天晚上使用电扇时，应把台扇放在窗边，好将室外的冷空气吹入室内，或将电扇朝顺风的方向吹，可进一步降温效率，缩短电扇使用时间，以减少电耗。

2）起动风扇时用快档，风扇起动后尽量少用快档。这样做可以达到很好的节电效果。

3）电风扇开快档和开慢档的耗电量相关很大。比如像400mm的电扇开快档时耗电66W，开慢档时耗电只有44W，少耗电30%左右。此外，电风扇不要长时间的吹扇，这样既可避免人患感冒，又节省了电耗。

图2-19 电风扇的外观

4）电扇每次使用完后，除关掉开关外，还应拔下电源插头，以防开关失灵而长期通电，增加电耗，损坏电动机。

5）风扇与空调搭配使用。

6）避免超期服役。

案例15 吸尘器的节电

1. 工作原理概述

图2-20所示为家庭常用的吸尘器，其工作原理是，利用电动机带动叶片高速旋转，在密封的壳体内产生空气负压，吸取尘屑（见图2-21）。

2. 吸尘器节电小窍门

吸尘器在使用过程中，为起到节电的效果应该，注意如下小窍门：

1）使用吸尘器时应及时清除过滤尘袋和滤网上的灰尘（见图2-22）。

2）必须定期给吸尘器机械转轴添加机油。

图2-20 吸尘器外观

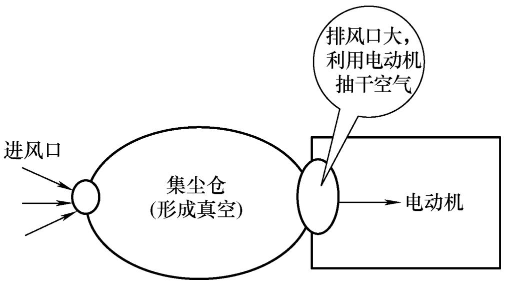


图2-21 吸尘器的工作原理

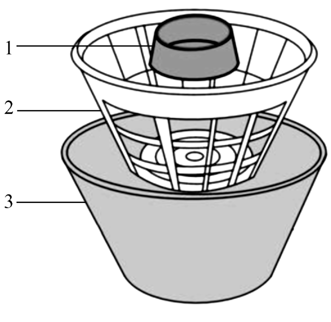


图2-22 吸尘器的滤网、滤尘架和滤尘袋
1—滤网 2—滤尘架 3—滤尘袋

3）应经常检查吸尘器风道、吸嘴、软管及进风口有无异物堵塞。根据不同的需要选择吸嘴，可提高吸尘效果，又可省电。

4）家用吸尘器不能在潮湿的地方使用。

5）使用吸尘器的时候可以把功率调节到合适的吸力。

案例 16　波轮洗衣机的节电

1. 工作原理概述

洗衣机是利用电能产生机械作用来洗涤衣物的清洁电器。按其额定洗涤容量分为家用和集体用两类。洗衣机一般专指使用水作为主要的清洗液体，有别于使用特制清洁溶液，及通常由专人负责的干洗。

图 2-23 所示为波轮洗衣机的结构，主要由洗衣桶、电动机、定时器、传动部件、箱体、箱盖及控制面板等组成。

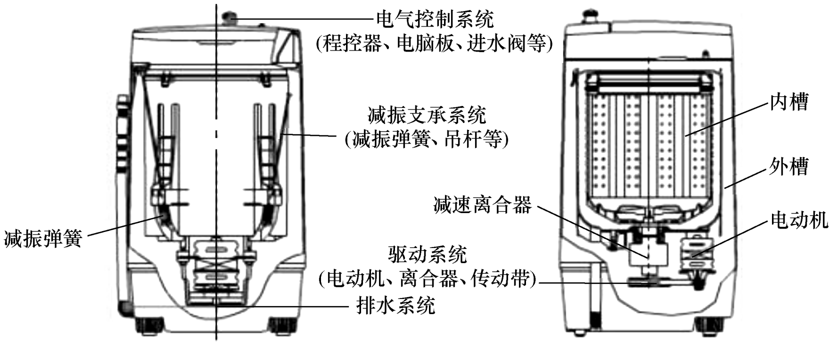


图 2-23　波轮洗衣机的结构

普通型波轮洗衣机结构工作原理是依靠装在洗衣桶底部的波轮正、反旋转，带动衣物上、下、左、右不停地翻转，使衣物之间、衣物与桶壁之间，在水中进行柔和地摩擦，在洗涤剂的作用下实现去污清洗。波轮旋转时对洗涤液的作用力中轴向分力可以减少衣物与波轮的摩擦，切向分力使洗涤液产生水平方向的涡流，径向分力将洗涤液甩向桶壁．使之沿桶壁上升，造成波轮中心区的负压。因压力差，四周的液体迅速向下流动，以弥补波轮四周的液体。

国标对于波轮洗衣机能源效率等级的规定见表 2-4 所示。

表 2-4　波轮洗衣机能效等级

洗衣机能效等级	耗电量/(kW・h/cycle/kg)	用水量/(L/cycle/kg)	洗　净　比
1	≤0.012	≤20	≥0.90
2	≤0.017	≤24	≥0.80
3	≤0.022	≤28	
4	≤0.027	≤32	≥0.70
5	≤0.032	≤36	

2. 波轮洗衣机的节电方法

洗衣机的电功率一般在300W以上，洗衣机洗涤衣物的时间越长，耗电量就越大，波轮洗衣机节约用电应从以下几个方面考虑：

1）应根据衣物的数量和脏污的程度来确定洗衣的时间：一般合成纤维和毛织品，洗涤2～4min；棉麻织物，洗涤5～8min；极脏的衣物洗涤10～12min。洗涤后漂洗的时间约3～4min即可。相应地缩短洗衣时间不仅可以省电，而且还可延长洗衣机和衣物的使用寿命。

2）合理选择洗衣机的功能开关。洗衣机有强、中、弱三种洗涤功能，其耗电量也不一样。一般丝绸、毛料等高档衣料，只适合弱洗；棉布、混纺、化纤、涤纶等衣料，常采用中洗；只有厚绒毯、沙发布和帆布等织物才采用强洗。

3）洗涤时最好采用集中洗涤的方法，即一桶含洗涤剂的水连续洗几批衣物，洗衣粉可适当增添，全部洗完后再逐一漂洗，这样可以省电、省水，还可节省洗涤时间。

4）洗衣机使用一段时间后，带动洗衣机的传动带波轮往往会打滑。传动带打滑时，洗衣机的用电量不会减少，但是洗衣的效果却变差。如果收紧洗衣机的传动带，就会恢复它原来的效果，从而达到节电目的。

5）采用低泡洗衣粉可以省电，洗衣粉的出泡多少与洗净能力之间无必然联系。优质低泡洗衣粉有极高的去污能力，而它漂洗时却十分容易，一般比高泡洗衣粉少1～2次漂洗时间。

6）衣物提前浸泡15min，可以提高洗净效果，同时省电。在浸泡、洗涤、漂洗时，要将浅色衣物与深色衣物分开，按从浅到深的顺序进行。这样不仅可避免深色衣物染花浅色衣物，还可根据脏污的程度选择洗涤时间，有利于节电。

7）如洗衣机使用的时间为3年以上，发现洗涤无力，应更换或调整洗涤电动机传动带，需加油的地方应加入润滑油，使其运转良好，达到节电效果。

8）甩干衣物时，一般勿超过3min，尼龙物品1min足够。

9）在执行峰谷分时电价地区，选择晚间或早晨的低谷时段洗衣，可以大大节约电费开支。

10）洗衣机应该尽量放在平坦干燥的地方，这样更能发挥其洗涤效率，减少用电量。

案例17　滚筒洗衣机的节电

1. 工作原理概述

滚筒洗衣机是利用电动机的机械力使滚筒旋转，衣物在滚筒中不断地被提升摔下、经过水淋、摔打、浸泡的重复运动，加上洗衣粉和水的共同作用使衣物洗涤干净。图2-24所示为滚筒洗衣机的外观。

图2-24　滚筒洗衣机外观

表2-5中为滚筒洗衣机的能效等级。与表2-4相比，滚筒洗衣机的能效1比波轮洗衣机的能效5都来得多得多。因此，滚筒洗衣机的高耗能成为很多用户所担忧的地方。

表 2-5　滚筒洗衣机能效等级

洗衣机能效等级	耗电量/(kW·h/cycle/kg)	用水量/(kW·h/cycle/L)	洗　净　比
1	≤0.19	≤12	≥1.03
2	≤0.23	≤14	≥0.94
3	≤0.27	≤16	
4	≤0.31	≤18	≥0.70
5	≤0.35	≤20	

2. 滚筒洗衣机节电方法

滚筒洗衣机最大的特点就是自动化程度高，因此其节电方法除了需要兼顾前面一个案例“波轮洗衣机的节电”方法外，还需要从以下方面进行着手：

1）合理选择洗衣程序。每一类洗衣程序都提供了不同的水温可供选择，例如洗涤棉织物时，最高水温可以设定为90℃，这样高的温度比较适合洗涤特别脏的牛仔裤、沾有大量油渍的工作服等；而羊毛洗涤程序只能将水温加热至30℃，这个温度下洗衣粉中酶更具有活力，而且不会伤及衣物，即使在洗涤强度不太大的情况下仍可达到较好的去污效果。自动加热是以大量的耗电为前提，事实上就洗衣粉中酶的特性而言，水温超过35℃后再继续提升对洗涤效果的提高很有限，除非用来洗做饭时穿的工作服，因为高温可使油污软化。因此，慎重选择温度对洗涤效果和节电效果都具有双重作用。

2）根据衣物的脏净程度选择不同的起始洗涤程序，对于不太脏的衣物选用快速洗涤，可省水、省电、省时间。

3）自来水温度较高时选用冷水洗涤。

4）一般化纤类衣物洗涤时间为3min为宜，棉织品和床上用品类以7min为宜。洗衣机的定时刻度一般不少于15min，因为转10min便能获得同样的洗涤效果，再多就是浪费了。而要脱水1min就可以了。

5）在同样长的洗涤周期内，“弱洗”比“强洗”的叶轮换向次数多。电动机反复起动次数增加，电动机起动电流是额定电流的5~7倍，所以“弱洗”反而费电，“强洗”却可延长电动机寿命。

案例18　变频洗衣机的选用

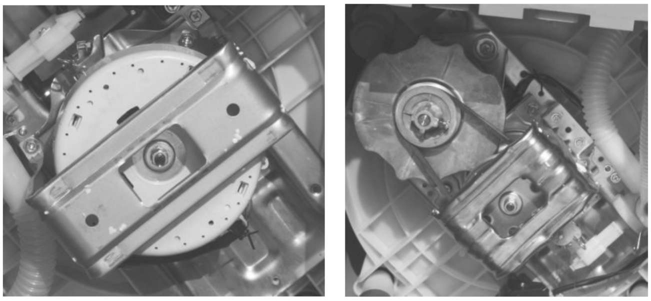
1. 概述

近几年来，我国的洗衣机制造技术发展迅速，从单、双桶波轮式向套筒波轮式全自动洗衣机和滚筒全自动洗衣机方向发展。然而，滚筒洗衣机大多采用双速感应电动机或有刷串励电动机，其缺点是，效率低、噪声高，影响了滚筒洗衣机性能的进一步提高。

变频洗衣机的出现则克服了以上缺点，它采用永磁电动机的轴直连方式，可满足洗衣机大转矩、小脉动、宽调速范围的要求。以波轮洗衣机为例，图2-25所示说明了两者不同的结构变化。变频洗衣机直接驱动，减少了附加传动的装置的机械磨损和功率损耗。同时，变频洗衣机强大的个性化功能、极高的洗净比、节能洗、超静音等优势，已经引导消费潮流。

2. 工作原理概述

电动机调速处理芯片（MCU）的功能越来越强大，使得变频洗衣机更易实现其优越的



a) b)

图 2-25 变频洗衣机与普通洗衣机传动结构的变化

a）变频波轮全自动洗衣机传动结构 b）普通波轮全自动洗衣机传动结构

个性化功能；智能功率模块（IPM）的应用，提高了控制器的可靠性，并且缩短了研发周期。随着生产技术的提高和市场规模的扩大，变频洗衣机的控制技术已经相当成熟，而且成本也在不断降低，这为变频洗衣机的市场化打下了基础。变频洗衣机的控制器的基本电路框图如图 2-26 所示。主电路为标准的单相输入，输出的是三相 PWM，即典型的交-直-交变频器。根据控制和输出功率的要求，可选择不同功率的 IPM 模块，根据主电路器件配置相应的驱动及保护电路，综合考虑噪声、控制性能及功率器件的开关损耗等因素，逆变器的 PWM 开关频率可设定在 16～20kHz 范围内。

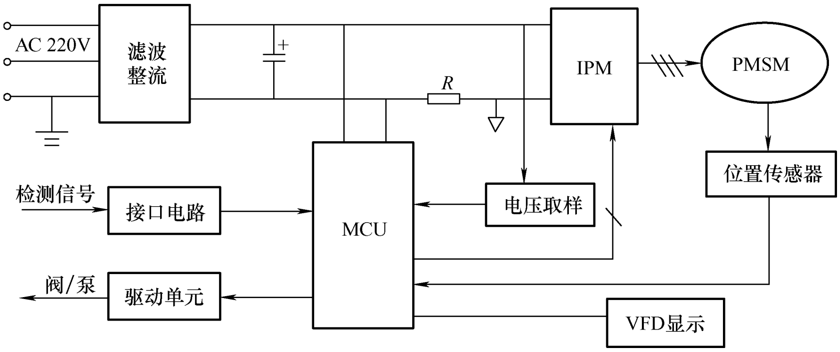


图 2-26 变频洗衣机工作原理

根据上述工作原理所做的变频洗衣机驱动板如图 2-27 所示。

案例 19 抽油烟机的节电

1. 工作原理概述

抽油烟机已成为现代家庭必不可少的厨房设备。抽油烟机进入中国普通家庭厨房的时间还不是很长。早期的家庭厨房排烟工作都是由排风扇来完成的。排风扇虽然能排除掉厨房中的大部分油烟，但是它却无力解决烹饪中产生的油烟对整个厨房的污染。烹饪中产生的油烟含有很多对人体有害的物质，如

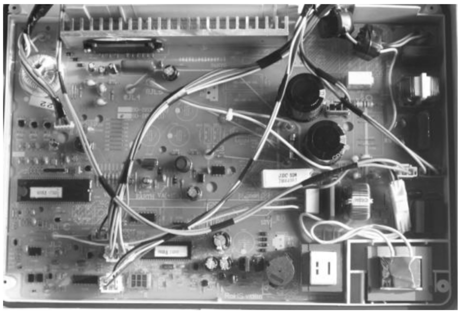


图 2-27 变频洗衣机驱动板

果人长期在充满油烟的房间内工作，会导致很多疾病的发生。

抽油烟机分为三种：一是中式烟机，二是欧式烟机，三是侧吸式（见图 2-28）。

吸油烟机的工作过程完全遵守空气流体力学原理：“在气体中相近的两个空间区域里，只要有很小的压强差存在，就能使气体很快的运动。”当吸油烟机处于工作状态时，大量的空气就被从机壳中排出，于是就会自然地在吸油烟机机壳区内形成一个与周围区域有较大压强差的负压区。这样当油烟上升时，就会受到这个负压区域的“吸引”而进入吸油烟机内。所以，不论吸油烟机的具体结构有什么特点，在必须形成一个压强差较大的区域来“吸引”油烟快速进入机体内这一点上是完全相同的。并且在吸油烟机的使用过程中，也必须采取相应措施来保持吸油烟机的这个工作特性。图 2-29所示为气流示意图。

图 2-28　抽油烟机（侧吸式）

抽油烟机的电器原理相对简单，如图 2-30 所示。

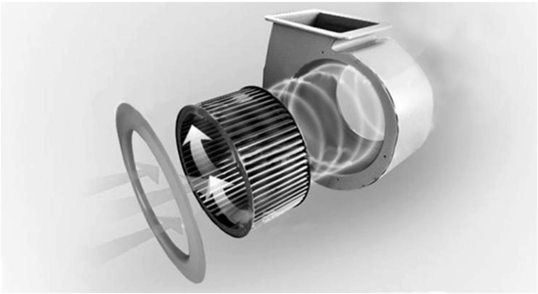


图 2-29　气流示意图

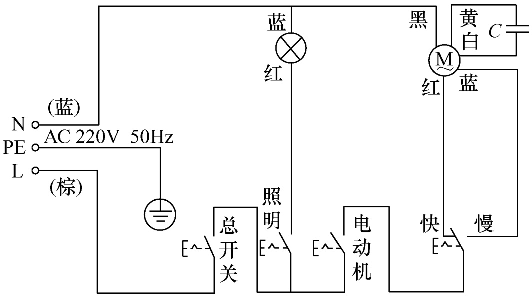


图 2-30　电路原理

2. 抽油烟机的节电方法

抽油烟机的节电方法主要有以下三种方法：

1）清洗抽油烟机时，不要擦拭风叶，可在风叶上喷洒清洁剂，让风叶旋转甩干，以免风叶变形，增加阻力。

2）不要把抽油烟机当换风设备，在有油烟时才开启抽油烟机。

3）起动时开强风。许多人都以为，抽油烟机使用小风档可以省电。其实，油烟机在起动时最耗电，开小风档的时候，由于运转速度慢，所以起动起来相对会费电些，而大风档由于运转速度快，起动起来也省电。

案例 20　加湿器的节电

1. 工作原理概述

加湿器是一种增加房间湿度的家用电器。如图 2-31 所示是加湿器的外观。

图 2-31　加湿器外观

加湿器虽然是一个比较小的电器，价位也比较低，在购买时，有很多注意事项还需用户去了解，以便更好地选择适合自己的产品。

第一，购买加湿器根据房屋面积选择在使用加湿器时，太干或

太湿都不好，只有科学加湿，才能更好地呵护你和家人的健康，所以房屋面积是购买前需要考虑的一个因素。比如 $20m^2$ 的房间适宜使用加湿量为 270mL/h 以上的加湿器，40～$50m^2$ 的房间则应选择加湿量为 540mL/h 的产品。

第二，购买加湿器根据品牌来选择虽然加湿器不是一个昂贵的电器，但也不能随便买一台放在家里，凡是购买的朋友都希望在质量上能得到保证，并且使用寿命也能更长一些，这时选择一个可靠的品牌显得尤其重要。如果你去转转卖场或者超市，就可以发现市场的加湿器品牌数不胜数，价位也是从几十元到几百元的都有，几十元的加湿器大都是一些小工厂生产的，只有加湿功能，没有除菌等其他功能，而且在售后服务上也没有保障，不建议购买。

第三，购买加湿器根据功能来选择加湿器的功能越来越多，热气功能、抗菌功能、无菌加湿、银离子杀菌、自动恒湿功能等，这些功能比原来只有加湿功能的加湿器更有利于健康，如何选择适合自己的加湿器要针对个人情况而言，比如您是一位爱美的女士，想用加湿器滋润肌肤、养颜美容，那么可以选择具有热气功能的加湿器；如果您想省心省力那么就可以选择自动恒湿功能的加湿器，它可以根据室内的湿度自动加湿或者停止加湿，使用起来更为方便，比如亚都绝大部分产品都使用了湿度显示技术，人性化显示环境内温湿度。

第四，购买加湿器根据类型来选择市场上的加湿器大致可分为电热式加湿器、超声波加湿器与纯净加湿器三种。由于电热式加湿器耗电量大、安全系数低，在市场已经很少见到，所以超声波加湿器与纯净加湿器成为市场主流。

2. 加湿器的节电

加湿器的节电主要是合理调整湿度并注意定时关机。

案例 21　浴霸的节电

1. 工作原理概述

浴霸是许多家庭沐浴时首选的取暖设备（行业里也称作多功能取暖器），其外观如图 2-32所示。

目前，市场上销售的浴霸按其发热原理可分为以下 4 种。

灯泡系列浴霸：以特制的红外线石英加热灯泡作为热源，通过直接辐射加热室内空气，不需要预热，可在瞬间获得大范围的取暖效果。其功能是取暖、换气、照明，采用 2 盏或 4 盏 275W 硬质石英防爆灯泡取暖，效果集中强烈，一开灯即可取暖，无需预热，非常适合生活节奏快捷的人群。二合一浴霸是专门为已安装好通风扇或低矮浴室、老住宅浴室而设计的，特点是安装简便。

图 2-32　浴霸的外观

PTC（一种陶瓷电热元件）系列浴霸：以 PTC 陶瓷发热元件为热源，具有升温快、热效率高、不发光、无明火、使用寿命长等优点，同时具有双保险功能，非常安全可靠。

双暖流系列浴霸：采用远红外线辐射加热灯泡和 PTC 陶瓷发热元件联合加热，取暖更快，热效率更高。

不伤眼的浴霸：又命名为“阳光浴”，它是模拟太阳光的原理，提供一种光催化涂料组合物，还有一种具有该组合物的辐射加热系统，利用电能转化为热能的，热能通过该种组合物转化为远红外线。整个体系可达到远红外辐射供热、除臭及抗菌性能。具有体感温度高、无风、无噪声、无光等优点，同时使用寿命长，安全可靠。

2. 浴霸的节电与安全使用方法

浴霸是冬天浴室取暖的最重要电器，同时也是容易引发电器安全事故的源头之一，因此浴霸的节电与安全要放在一起进行考虑。以最常见的灯泡系列浴霸为例，在合适的温度下，尽可能少开电灯泡盏数，同时要开启排风功能。

平时使用不可频繁开关浴霸，浴霸运行中切忌周围有较大的振动，否则会影响取暖泡的使用寿命。如运行中出现异常情况，应即停止使用，且不可自行拆卸检修，一定要请售后服务维修部门的专业技术人员检修。

浴霸工作时禁止用水喷淋。在使用时应该特别注意：尽管现在的浴霸都是防水的，但在实际使用时千万不能用水去泼，虽然浴霸的防水灯泡具有防水性能，但机体中的金属配件却做不到这一点，也就是机体中的金属仍然是导电的，如果用水泼的话，会引发电源短路等危险。

案例 22　液晶电视机的节电

1. 工作原理概述

LCD，全称“Liquid Crystal Display”，译为液态晶体显示器，简称“液晶显示器”。液晶是一种介于固态和液态之间的物质，是具有规则性分子排列的有机化合物，如果把它加热会呈现透明状的液体状态，把它冷却则会出现结晶颗粒的混浊固体状态。正是由于它的这种特性，所以被称之为液晶。采用此类液晶制造的液晶显示器也就称为 LCD。而液晶电视是在两张玻璃之间的液晶内，加入电压，通过分子排列变化及曲折变化 再现画面，屏幕通过电子群的冲撞，制造画面并通过外部光线的透视反射来形成画面。图 2-33 所示为液晶电视机外观。

图 2-33　液晶电视机外观

在商场中还有销售 LED 电视机的，其实也是一种液晶电视机，严格的名称是“LED 背光源液晶电视”，它用 LED 光源替代了传统的荧光灯管，画面更优质，理论寿命更长，制作工艺更环保，并且能使液晶显示面板更薄。

2. 液晶电视机的节电方法

液晶电视机的节电方法有以下几个方面：

1）观看时音量要适量：液晶电视机发出声音的大小取决于音箱自身的功率，功率越大它的声音也就越大，耗电量也随之增加，可以把音量开到听得清就好了，这样可以节电，也不会吵到邻居。同样可以增加电视音响系统的使用寿命。

2）电视亮度过高很耗电：液晶电视的亮度并没有必要设为 100%，一般使用 50% 或稍高些的亮度就可以了，要知道 100% 的亮度比最暗亮度时的耗电量要多增加 50% 的水平，可见“亮度”对液晶电视的节能效果是多么的重要。

3）待机状态也耗电：看完电视的时候只用遥控器关闭电视，没有按电源按钮的话，电

视机是不会真正的断电，而只是处于待机状态，在这种状态下液晶电视仍然会有几瓦的耗电量存在，虽然并不高，当长此以往的积累也将是十分可观的。所以观看完电视后一定要记得关闭电视机的电源。

案例23　音响设备的节电

1. 概述

图2-34所示的音响设备大概包括功放、周边设备（包括压限器、效果器、均衡器、VCD、DVD等）、扬声器（音箱、扬声器）调音台、传声器、显示设备等等加起来一套。其中，音箱就是声音输出设备、扬声器、低音炮等。一个音箱里包括高、低、中三种扬声器，三种但不一定就三个。

家用音响系统最终的追求目标是得到理想的听音效果，如在家中可欣赏到影剧院的音响效果。但家庭又不同于影剧院，因此对欣赏不同性质的音响，要求的声学效果也不一样，对流行音乐、古典音乐、轻音乐等要求能正确还原各种乐器，但对欣赏影片，却要求有音效的现场感、包围感等。

对音源，首选为DVD，因为DVD为纯数字化的设计，大多配有AC-3的接口，可直接组成带AC-3的杜比环绕声系统。CD机也不错，但要注意不同音源最终会得到不同的音响效果（即使后面的设备完全相同）。

图2-34　音响设备

对功放，要求其有多对输入、输出端子（若组建家庭影院系统，最少要6对），有较大的功率输出，阻抗要匹配。

对音箱的要求，功率可以小一点，因为家庭内使用一般不需大功率输出，但对音箱的灵敏度、指向特性、频响特性均应有较高的要求，最好采用全频音箱，功率足够即可。

连接线是发烧友最容易忽视的，但事实证明，它们对音效的影响绝对不能忽略，其频特性、屏蔽特性一定要好。

2. 音响设备的节电

音响设备节电的方法主要是三点：

1）按照【案例1】的提示尽量减少音响设备的待机时间。

2）尽量在不影响收听效果的情况下降低音量。

3）外接音箱的阻抗不可太小。避免多只音箱开联使用，尽可能减轻功放的负载，以达到节电及保护机器的目的。

案例24　台式计算机的节电

1. 概述

台式计算机，人们又称电脑，外文缩写为PC，它有多个不同的部件协同工作，例如中

央处理器、存储器、硬盘、显示器等。通常，人们使用电脑可以做许多不同的事情，比如使用它输入文档、发送电子邮件、浏览网页以及玩游戏。图2-35所示为台式电脑的外设。

先看一下一台典型台式计算机（电脑）的主要部件。

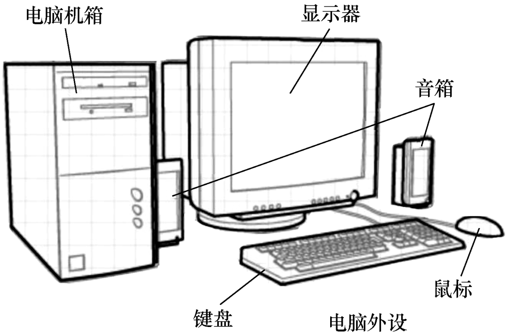


图2-35　台式电脑外设

1）中央处理器（CPU）：计算机系统的微处理器“大脑”被称为中央处理器。计算机执行的所有操作都由CPU监控。

2）存储器：这是用于保存数据的快速存储器。由于它直接与微处理器相连，因此它的速度必须很快。计算机中有几种特定类型的存储器：

随机存取存储器（RAM）——用于临时存储计算机当前正在处理的信息；

只读存储器（ROM）——用于存储计算机内不会更改的重要数据的永久型存储器；

基本输入/输出系统（BIOS）——计算机首次接通电源时，用于建立基本通信的一种ROM；

高速缓存——与CPU直接相连的用于存储频繁使用数据的超快速RAM；

虚拟内存——属于硬盘空间，用于临时存储数据并根据需要将数据转入转出RAM。

3）主板：主板是连接所有其他内部部件的主电路板。CPU和存储器通常位于在主板上。其他系统可以直接安装在主板上或通过二次接线与主板相连。例如，声卡可以集成到主板上，也可通过PCI与之相连。

4）电源：计算机用来管理电的电力变压器。

5）硬盘：硬盘是用于存储程序和文档等信息的大容量永久性存储器。

6）操作系统：操作系统是用户与计算机交互的基本软件。

2. 台式电脑能耗现状

一般，电视机的耗电量在80W以下，电脑大约在250～400W之间。一台电脑每个月的耗电量：假如每小时为300W×一天开10h×一个月30天=90kW，即90kW·h电，这只是一个保守的估计。根据图2-36所示，LCD显示器耗电最多，具体为：15in、17in、19in（英寸）显示器耗电量分别在60W、80W、100W左右。

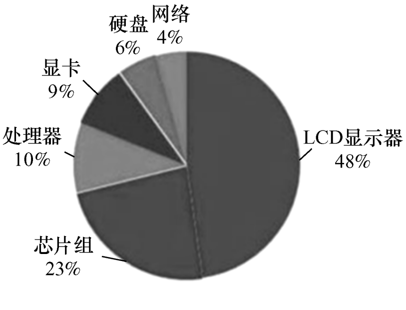


图2-36　台式电脑的耗电示意

3. 台式电脑的节电小窍门

以下有7种方法让台式电脑更省电：

1）关机：记住一切休眠模式都没有关机来得实在。暂停使用电脑时，如果预计暂停时间小于1h，建议将电脑置于待机，如果暂停时间大于1h，最好彻底关机。

2）硬盘：硬盘也是个费电的部件，而且它一直都在运作，当然我们不可能用降低硬盘转数的方法来降低用电，但我们可以在不用电脑的时候，把系统开启休眠模式。

3）设置：必要的省电设置。电脑跟手机一样，大多数系统的控制面板里，都有一些省电设置。

4）插座：如果有可能的话换上节能的自能电源插座，它能在电脑开机或者关机的时候减少不必要的耗电。

5）进程：删除掉不必要的进程。尤其是开机软件，尽量做到少，诸如蓝牙、Wifi 等无线网络如果不用的时候还是关闭吧。

6）虚拟系统：如果用户不得不用上 MAC、PC Windows 和 Linux 的话，你可以试一试在一台电脑上装上 3 个系统，或者模拟系统。这样不仅仅节约了 3 台电脑的电能，还省下了一笔买电脑的钱。

7）亮度调低：事实证明，如果显示器的亮度调低的话是有助于节省电能的，如果你实在不习惯可以设置为无人时屏幕关闭或者自动降低暗度。

案例 25　笔记本电脑的节电

1. 笔记本电脑能耗现状

笔记本与台式机相比，笔记本电脑有着类似的结构组成（显示器、键盘/鼠标、CPU、内存和硬盘），但笔记本电脑的优势还是非常明显的，其主要优点有体积小、重量轻、携带方便。一般来说，便携性是笔记本相对于台式机电脑最大的优势，一般的笔记本电脑的重量只有 2kg 左右，无论是外出工作还是旅游，都可以随身携带，非常方便。图 2-37 所示为笔记本电脑的外观。

2. 笔记本电脑的节电小窍门

笔记本电脑的节电主要是要调整屏幕的亮度来节电，唯一的途径就要去 Win7 或 Win8 电源管理器那里，这样做就是因为 Windows 操作系统已经制定了一套有效的电源管理方案。而这个方案允许用户很容易的从一种电源设置状态切换到另外一种状态。

图 2-37　笔记本电脑外观

首先进入桌面打开“计算机”，然后单击“控制面板”找到“硬件与声音”，再找到“电源选项”就行，选择“更改计划设置”（见图 2-38），接下来就是详细的设置过程（见图 2-39）。

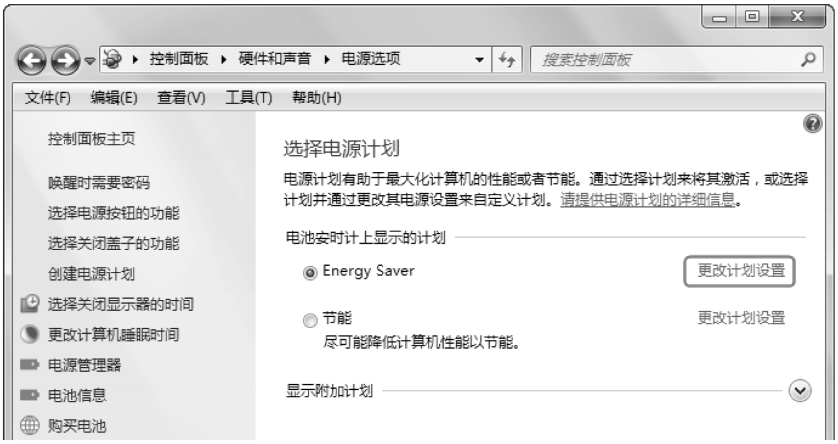


图 2-38　更改计划设置

Windows 操作系统预先给默认设置好的，肯定是中规中矩符合最广大用户的，但要想让它更符合自己的使用情况，达到更省电的状态，还是要自己稍作调整，从而让计算机更好地发挥性能。一般来说，除了关闭显示器和使电脑进入睡眠状态这两个可选时间外，最重要节能设置的应该在高级电源设置那里，因为可以设置多个独立电脑硬件的关闭时间，例如硬盘和无线适配器等。

另外提示一点，如在台式机上最简单的省电方法就是减小闲置时间为 2～5min，显示器就能自动关闭。此外，在笔记本上，我们还可以通过调低显示亮度来轻易延长电池的使用时间。除了对操作系统自带的设置外，接下来我们的重点就应该放在减少电脑空闲时用电量以及支持新设备的电源模式。

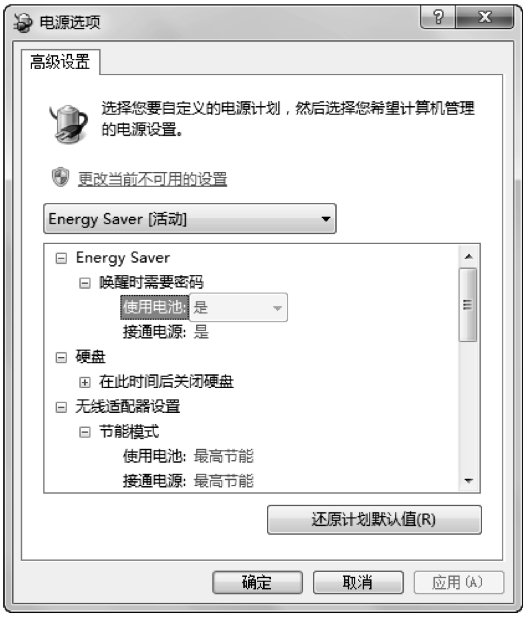


图 2-39　更改高级设置

减少电脑空闲时的用电量第一步是优化处理器、内存以及磁盘使用的数量。首先减少处理器的利用是非常重要的，当真正空闲时，处理器所消耗的功率可以低至 100～300mW。但是，当完全运行时，功率可以增加至 35W。这么大幅度的差距意味着少量的处理器活动对于整个电能的消耗以及电池的寿命都会产生重大的影响。Windows 操作系统从多个方面对此进行了研究，其中包括一种智能的管理方式：在这个平台上的服务只有达到一个“触点”时，对应的这个服务才会启动。

案例 26　家用节能灯的选用

1. 概述

图 2-40 所示的节能灯实际上就是一种紧凑型、自带镇流器的荧光灯，节能灯点燃时首先经过电子镇流器给灯管灯丝加热，灯丝开端发射电子（由于在灯丝上涂了一些电子粉），电子碰撞充装在灯管内的氩原子，氩原子碰撞后取得了能量又撞击内部的汞原子，汞原子在吸收能量后跃迁产生电离，灯管内构成等离子态。

灯管两端电压直接经过等离子态导通并发出 253.7nm 的紫外线，紫外线激起荧光粉发光，由于荧光灯工作时灯丝的温度约在 1160K 左右，比白炽灯工作的温度 2200～2700K 低很多，所以它的寿命也大有进步，到达 5000h 以上，由于它运用效率较高的电子镇流器，同时不存在白炽灯那样的电流热效应，荧光粉的能量转换效率高，到达每瓦 50lm（流明）以上，所以节约电能。节能灯与普通白炽灯相比，发光效率约提高 5～6 倍，如 11W 节能灯的光通量相当于 55W 普通白炽灯，因此选用节能灯时，按具体的光照度来选。

图 2-40　节能灯外观

2. 优质节能灯的选用

照明的成本代价 = 电费 + 灯价。

成本的主要因素取决于灯泡的耗电量。要为家庭节约照明费用，最科学的办法是购买最能有效利用能源的节能灯产品。虽然节能灯的价格比标准的白炽灯泡贵，但许多实例表明，只要选到优质节能灯，投资不超过三个月即得到回报。

质量好的品牌节能灯使用寿命可达 8000h，然而差的产品平均寿命在 1000h 左右，有的甚至点亮 20min 就会烧坏，寿命还不及一支蜡烛。好的节能灯，灯管采用高效三基色荧光粉，更好的会采用水涂粉镀膜工艺，而劣质节能灯管，采用的是卤粉管，这样的灯管虽然价格低廉，但寿命短、光效低。

所以对于消费者而言，选购时应认准品牌，因为好的品牌生产的产品整体质量较好，在性能及安全上都会达标，而且售后服务比较到位，有品牌的节能灯管都有一年的保修期，一年之内出现质量问题均可包换。

其次，购买时，要确认产品包装完整，标志齐全。好的节能灯产品外包装上通常对节能灯管的寿命、显色性、正确安装位置等做出说明。打开包装后，节能灯上还应有一些必要的标志，比如电源电压、频率、额定功率以及制造商的名称、商标等。

第三，质量好的节能灯管，点亮后是慢慢达到最高亮度，且光效好，而质量差的节能灯，通电后亮度基本上不变，亮度低、光色暗。

另外，消费者在挑选节能灯管时，要注意查看其表面是否光滑、涂粉是否均匀、有无发黑现象，如果有就不能购买；可上下晃动节能灯管，好的节能灯管内部应无碎碴响动的声音，并在灯座上反复安装试验，灯头不应松动脱落。

最后，节能灯管对电源的要求较高，若供电质量不佳，瞬间启动电流较大，频繁启动等因素会缩短灯管使用寿命。

案例 27　简易延时照明节电电路的制作

1. 概述

在日常生活中，经常会用到延时照明的情况，比如在楼道的路灯，这样就能节约不少电能。这里介绍的延时照明灯非常简单，安装也十分方便，将它直接连接于普通开关的两端即可。使用时，打开开关电灯点亮，关灯后由于延时电路的作用使电灯仍亮几秒钟后自动熄灭。本电路安全可靠，适合初学者自制（见图 2-41）。

该延时照明灯的电路如图 2-40 所示。延时电路如点画线框内所示。图中的 S 为拉线开关或墙壁开关，当 S 闭合后，该延时电路不工作，电灯处于正常的发光状态。当 S 被关断后，该电压一方面经 R_1 向电容 C 充电，由于在 C 的充电期间没有电流流过 R_2，则晶体管 V 一直处于截止状态；另一方面，该电压经 R_3、R_4 向晶闸管 VT 提供触发电压，使晶闸管处于导通状态，因此在关灯后电灯亮一段时间。当电容 C 被充足电后，使晶体管 V 由截止转为导通状态，将晶闸管 VT 关断，电灯也就熄灭了。

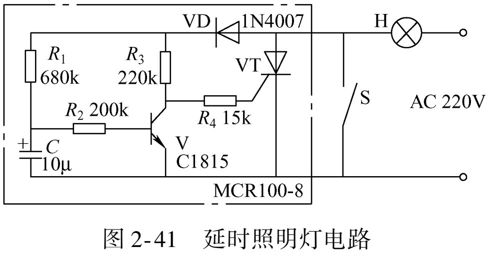


图 2-41　延时照明灯电路

本电路关灯延时期间，延时时间由 R_1、C 的取值来确定，读者也可根据各自需要自行确定。本电路中的晶闸管，可以选用单向晶闸管，在关灯延时期间电灯的亮度约为开灯时亮度的一半，以适合人视觉上的需要，同时又可节能。

2. 制作调试

在图 2-40 中单向晶闸管 VT 选用 MCR100-8，耐压须为 600V 以上。灯泡的功率不大于 100W 为宜。二极管 VD 为 1N4007，V 为 C1815。电阻均为 1/8W 碳膜电阻。制作时，用一小块电路板将图中点画线框内各元器件焊装上。

案例 28　触摸式延时照明节电电路的制作

1. 概述

本例介绍的触摸式延时照明灯采用二线制接法，而不必更改室内原有布线，非常适宜楼梯走道照明灯。

触摸式延时照明灯的电路如图 2-42 所示。二极管 $VD_1 \sim VD_4$、晶闸管 VT 组成开关的主回路，晶体管 V_1、V_2 等组成开关的控制回路。平时 V_1、V_2 均处于截止状态，VT 阻断，电灯 EL 不亮。此时 220V 交流电经 $VD_1 \sim VD_4$ 整流、R_3 和稳压管 S 使发光二极管 VL 点亮，用作夜间指示开关位置。这时流过 EL 的电流仅 2mA 左右，不足以使电灯发光。需要开灯时，只要用手指摸一下触摸电极片 M，因人体的泄漏电流经 R_5、R_6 注入 V_2 的基极，使 V_2 迅速导通，V_2 的集电极变为低电平，V_1 也随之导通，因此有触发电流经 V_1 注入 VT 的门极使晶闸管开通，电灯 EL 就通电发光。在 V_2 导通瞬间，电容器 C_1 通过 V_2 的 c-e 极间被并联在稳压管 VS 的两端，因此被迅速充上约 12V 的直流电荷。电灯点亮后，人手离开电极 M，晶体管 V_2 恢复截止，但由于 C_1 所贮存电荷通过 R_1 向 V_1 发射结放电，使 V_1 继续保持导通状态，所以电灯仍能发光。当 C_1 电荷放完后，V_1 由导通态变为截止态，VI 失去触发电流，当交流电过零时即关断，电灯熄灭。

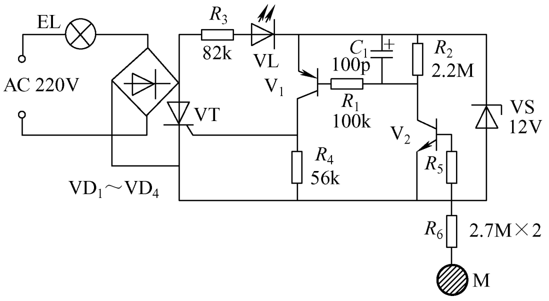


图 2-42　触摸式延时开关

2. 元器件选择与制作调试

V_1 采用 9012 或 3CG12 型硅 PNP 中功率晶体管；V_2 选用 901J 或 3DG12、3DK4 型硅 NPN 中功率晶体管，要求电流放大系数 β 值均大于 100；VT 选用普通小型塑封单向晶闸管，如 MCR100-8、2N6565、BT169 型等。$VD_1 \sim VD_4$ 选用 1N4004 或 1N4007 型等硅整流二极管；VS 选用 12V、0. 5W 型稳压二极管，如 2CW60-12、1 N5242、UZ-12B 型等；VL 选用 ϕ5mm 圆形红色发光二极管。$R_1 \sim R_6$ 均可用 RTX-1/8W 型碳膜电阻器。C1 选用 CD11-25V 型电解电容器。

将除 R_6 以外全部元器件焊接在一块自制的印制电路板上，印制板应采用环氧树脂敷铜板制作，尺寸约 55mm×35mm。开关壳体可借用 86 系列暗开关面板，拆除原开关上的所有结构件只用其面板。将制作好的电路板固定在暗开关面板的背后，用厚 0. 1mm 铜皮做两个

L 形引脚，作为开关对外两个引出端，如图所示。在面板适当部位再开一个小孔，以便让发光管从此孔中伸出。触摸电极片 M 可用罐头铁皮剪成 20mm×20mm 正方形，用 502 胶粘在开关面板上。R_5 和 R_6 是两个高阻值电阻器，是用来保证使用者绝对安全。R_5 插焊在印制板上，R_6 则紧贴在触摸片背后焊接，电阻引线要剪短，另一头焊上一根软接线然后用环氧树脂将 R_6 封固在电极片背后，经过这样处理后触摸电极片 M 与印制板上任何元器件至少有 2.7MΩ 以上的电阻，因而可保证使用者的安全。粘好触摸电极片后，再将电极片 M 的引出软线（实为 R_6 的引线）与印制板上的电阻 R_5 相连。

此开关接人照明电路时，接法与普通开关完全相同，电路不用调试，即可正常工作。读者可根据表中所示选取自己所需的延迟时间，由于元器件的离散性，装好后如发现延迟时间不合要求，可以调整 R_1（或 R_2）的阻值，即可达到要求。VL 用于夜间弱照明，方便人们寻找开关。如不需要此功能，可省去 VL，在电路板上用短导线将 VL 焊点短接即可。本例负载能力为 100W，可驱动 100W 以下的白炽灯泡。

案例 29　声光控延时照明节电电路的制作

电路的工作原理：

用声光控延时开关代替住宅小区的楼道上的开关，只有在天黑以后，当有人走过楼梯通道，发出脚步声或其他声音时，楼道灯会自动点亮，提供照明，当人们进入家门或走出公寓，楼道灯延时几分钟后会自动熄灭。在白天，即使有声音，楼道灯也不会亮，可以达到节能的目的。

声光控延时开关的电路原理图如图 2-43 所示。电路中的主要元器件是使用了数字集成电路 CD4011，其内部含有 4 个独立的与非门 $VD_1 \sim VD_4$，使电路结构简单，工作可靠性高。

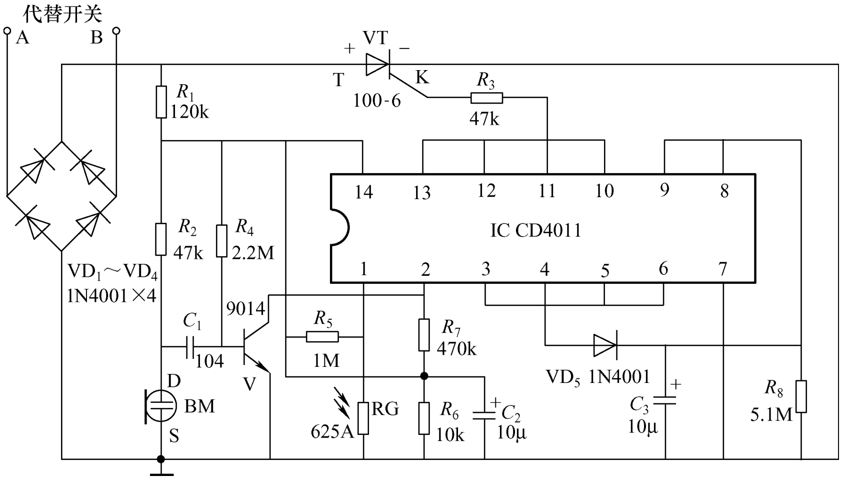


图 2-43　声光控延时开关的电路原理

顾名思义，声光控延时开关就是用声音来控制开关的“开启”，若干分钟后延时开关“自动关闭”。因此，整个电路的功能就是将声音信号处理后，变为电子开关的开动作。明确了电路的信号流程方向后，即可依据主要元器件将电路划分为若干个单元，由此可画出图 2-44所示的框图。

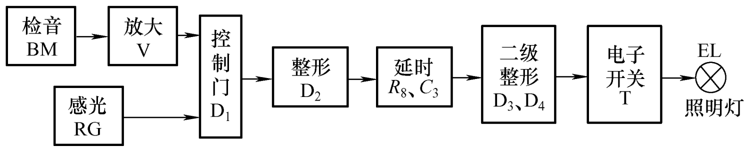


图 2-44　工作原理

结合图 2-44 来分析图 2-43。声音信号（脚步声、掌声等）由驻极体传声器 BM 接收并转换成电信号，经 C_1 耦合到 V 的基极进行电压放大，放大的信号送到与非门（VD_1）的 2 脚，R_4、R_7 是 V 偏置电阻，C_2 是电源滤波电容。

为了使声光控开关在白天开关断开，即灯不亮，由光敏电阻 RG 等元件组成光控电路，R_5 和 RG 组成串联分压电路，夜晚环境无光时，光敏电阻的阻值很大，RG 两端的电压高，即为高电平间 $t=2\pi R_8C_3$，改变 R_8 或 C_3 的值，可改变延时时间，满足不同目的。VD_3 和 VD_4 构成两级整形电路，将方波信号进行整形。当 C_3 充电到一定电平时，信号经与非门 VD_3、VD_4 后输出为高电平，使单向晶闸管导通，电子开关闭合；C_3 充满电后只向 R_8 放电，当放电到一定电平时，经与非门 VD_3、VD_4 输出为低电平，使单向晶闸管截止，电子开关断开，完成一次完整的电子开关由开到关的过程。

二极管 VD_1 ~ VD_4 将交流 220V 进行桥式整流，变成脉动直流电，又经 R_1 降压，C_2 滤波后即为电路的直流电源，为 BM、V、IC 等供电。

元器件清单见表 2-6。

表 2-6　照明电路元器件清单

序号	名　称	型号规格	位　号	数量	序号	名　称	型号规格	位　号	数量
1	集成电路	CD4011	IC	1 块	9	电阻器	470kΩ、1MΩ	R_7、R_5	2 支
2	单向晶闸管	100-6	VT	1 支					
3	晶体管	9014	V	1 支	10	电阻器	2.2MΩ、5.1MΩ	R_4、R_6	各 1 支
4	整流二极管	1N4001	VD_1 ~ VD_5	5 支					
5	驻极体	54 ± 2dB	BM	1 支	11	瓷片电容	104	C_1	1 支
6	光敏电阻	625A	RG	1 支	12	电解电容	10μF/10V	C_2、C_3	2 支
7	电阻器	10kΩ、120kΩ	R_6、R_1	2 支	13	前后盖			1 套
8	电阻器	47kΩ	R_2、R_3	2 支	14	印制板、图样			1 套

案例 30　家庭 LED 节能灯具的选用

1. 概述

LED 即半导体发光二极管，LED 节能灯是用高亮度白色发光二极管发光源，光效高、耗电少，寿命长、易控制、免维护、安全环保；是新一代固体冷光源，光色柔和、艳丽、丰富多彩、低损耗、低能耗，绿色环保，适用于家庭、商场、银行、医院、宾馆、饭店等各种公共场所长时间照明。

目前，家庭用 LED 灯的用途较广，可以大幅度节约电能。比如家庭用来打背景墙的射灯就是开始采用 LED 灯。

目前用量最多的主要是替代传统卤素射灯的 LED 射灯（见图 2-45）和替代普通筒灯的 LED 筒灯，卤素射灯就是俗称的射灯，天花灯，家庭装修一般用来对背景墙，装饰画起重点照明展示的。

由于卤素射灯采用的卤素灯泡，一般卤素有 35W、50W，发热量大，也比较费电，加上 LED 产品现在在光效和照度都能达到要求，所以越来越多的家庭用户选择了 LED 射灯（见图 2-46）。

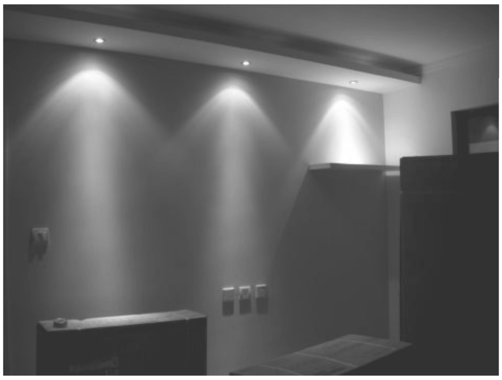


图 2-45　LED 射灯应用

图 2-46　LED 射灯外观

2. LED 节能灯的种类

LED 节能灯品种丰富，市面上基本由三类。

一类：由草帽型小功率 LED 制成的 LED 节能灯，电源采用阻容降压电路。草帽型 LED 延用指示灯 LED 的封装形式，环氧树脂封装，使得 LED 芯片无法将热量散出，光衰严重，很多白光 LED，在使用一段时间后，色温变高，渐渐成偏蓝色，变得昏暗。也有厂家致力于开发低光衰的草帽型 LED，但是由于没有改变封装形式，光衰依然没有大的改观。这类 LED 节能灯产品，为过渡性产品，价格低、质量较差。

二类：由 3528 或 5050 贴片中小功率 LED 制成的 LED 节能灯，电源也普遍采用阻容降压电路，也有部分厂家采用恒流电路，相比草帽型 LED，贴片 LED 散热稍好，有导热基板，在配合铝基板，能将一部分热量导出。但是由于还是忽视的 LED 的热量，很多中功率贴片 LED 节能灯，没有散热器，依旧使用塑料外壳，光衰依然严重。采用阻容降压低端电源，因电网电压不稳，电流有波动，亮度也有波动，价格适中，质量稍好。

三类：由大功率贴片 LED 制成的 LED 节能灯，电源普遍采用恒流隔离电路，即有一个恒定的电流，如 5W 的 LED，通常采用 5 片 1W 的 LED 芯片串联，采用恒流 300mA 的电流源供电，宽电压电源，即使电网波动时，电流也没有改变，光通量即亮度维持恒定，5 片贴片 LED 焊接在铝基板之上，铝基板再结合于散热器上，使用热量能够及时快速的散去，保证 LED 芯片温度低于 LED 允许结温，从而保证 LED 节能灯的真实有效寿命。这类 LED 灯价格高、质量好，也是 LED 节能灯的发展方向。

一个好的 LED 节能灯，应该由四部分组成：优质的 LED 芯片、恒流隔离电源、相对灯具功率的合适的散热器、光扩散效果柔和不见点光源的灯罩。

3. LED 节能灯的特点

1）高效节能：以相同亮度比较，3W 的 LED 节能灯 333h 耗 1kW · h 电，而普通 60W 白炽灯 17h 耗 1kW · h 电，普通 5W 节能灯 200h 耗 1kW · h 电。

2）超长寿命：半导体芯片发光，无灯丝、无玻璃泡、不怕振动、不易破碎，使用寿命可达五万小时（普通白炽灯使用寿命仅有一千小时，普通节能灯使用寿命最多也只有八千小时）。

3）健康：光线健康光线中含紫外线和红外线少，产生辐射少（普通灯光线中含有紫外线和红外线）。

4）光效率高。市面上的单颗大功率 LED 也已经突破 100lm/W，制成的 LED 节能灯，由于电源效率损耗，灯罩的光通损耗，实际光效在 60lm/W，而白炽灯仅为 15lm/W 左右，质量好的节能灯在 60lm/W 左右，所以总体来说，LED 节能灯光效与普通节能灯持平或略优。

案例 31　智能节电插座的设计

1. 概述

计算机外部设备（如打印机、扫描仪、音响等）的待机能耗不但增加了消费者的日常电费开支，也使电力资源浪费极大。智能节能插座可以利用主机的开机和关机来带动其他设备的开或关，使其接口设备待机能耗为零，能够减少计算机及其外设所产生的辐射，以此达到节能和环保功效；同时还具备有分段定时开关的功能。

2. 硬件设计

智能节能插座的硬件结构图如图 2-47 所示。该控制器以 AVR mega 48 为控制核心，外围电路主要由电流采样电路、模/数转换参考电压电路、状态显示电路、键盘输入电路和实时时钟构成。电流采样电路用于检测计算机的运行状态和过电流保护；数/模转换参考电压电路为电流的采样提供参考；状态显示电路表明插座当前的运行状态；键盘输入实现普通插座与智能插座的切换、设置待机临界电流值、设置分段开关的时间点。计算机主机运行状态通过主机接口的电流互感器检测，过电流保护通过另一互感器检测，当电流大于额定电流一定时间时切断受控插座的电源，对外设起到保护作用。由于互感器的感应电流较小，在数/模转换过程用对参考电压的要求较高，该设计采用带隙恒压源 TL431 作为 A/D 转换的参考电压。不同的计算机主机的待机电流可能不同，因此通过外部键盘可以采样待机电流为临界值，同时可以设置插座作为普通插座使用；RTC 时钟由 PCF8563 构成。

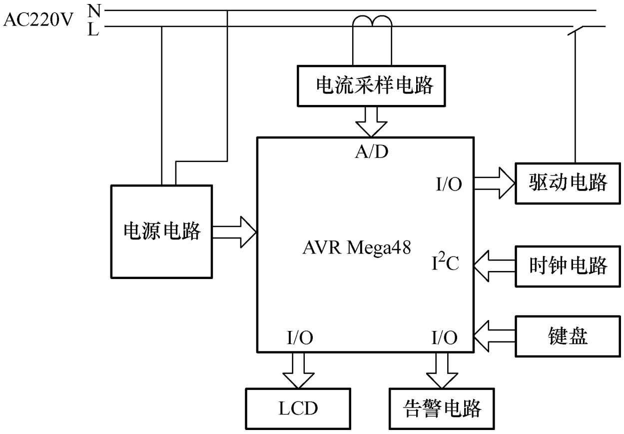


图 2-47　智能节能插座的硬件结构

其中电流采样电路的设计采用电流型电流互感器采样交流电流，一路采样主机接口电流实现开关控制，另一路采样受控接口电流实现过电流保护，（见图 2-48）。电流互感器的输出信号经过 I-V 变换后用 AVR mega 48 采样，根据互感器的变比系数可以计算出电流的有效值。I-V 变换的输出电压

经过比较器后，若达到过电流极限（如设定为 10A）则触发外部中断，经过中断程序处理判断是否达到过电流值并执行过电流保护动作。

在智能节电插座中，受控插座的通断是由继电器控制的，可采用线圈侧电压为 5V 的继电器，用 S8050 驱动继电器。AVR Mega 48 具有较强的 I/O 驱动能力，R_6 起到限流作用；下拉电阻 R_7 可以避免继电器误动作；VD_1 为继电器断开时提供放电回路，如图 2-49 所示。

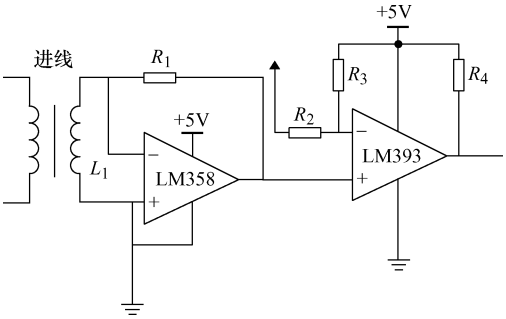


图 2-48　电流采样和过电流保护电路

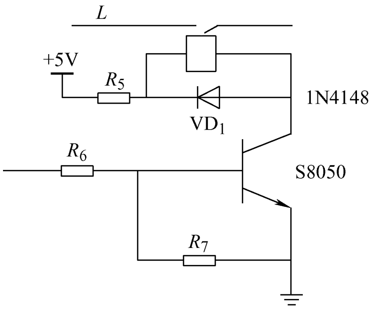


图 2-49　继电器驱动电路

键盘电路采用单按键的输入方式，用于设定普通插座和智能插座的功能转换和需要定时开关时的时间设定。在程序运行过程中，通过定时中断检测是否有按键按下。当功能键按下不超过 10s 时进入定时开关模式，并通过加减按键设定定时开关的时间；当功能键按下超过 10s 时切换为普通插座使用，若在需要切换为智能插座，则执行相同的操作。设定的参数和模式保存在 AVR Mega 48 的 E^2PROM 中。实时时钟电路为定时开关提供精确的时间。用 CR2025 镍氢纽扣电池作为 PCF8563 的后备电池，如图 2-50 所示。

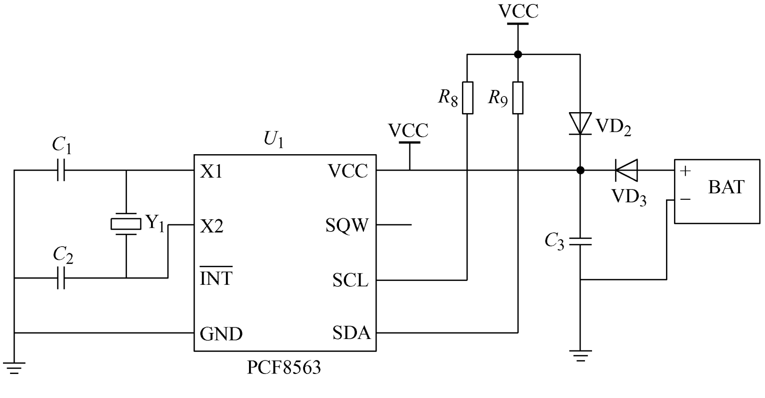


图 2-50　实时时钟电路

由于不同的计算机等设备待机电流大小不一样，因此在使用前需采样主机的待机电流。首先将主机进入待机模式，通过模式按键进入中断后采样此时的电流，并存入 E^2PROM 中。

智能节能插座，具有智能节能和定时开关功能，也可作为普通插座使用。经过测试，系统显示出了良好的控制效果，不仅使计算机外设的待机功率降为零，同时也起到了保护外设的作用。

第3章 大型建筑与公用设备节电案例

导读

建筑电气领域，无论是供电系统或用电设备，节约用电蕴含着巨大的潜力。以照明领域为例，它是节电领域的一个排头兵，照明节电是一种低成本高回报的节能投资，节能效果明显，它可以是简单的延时开关节电设计改造，也可以是选用节电率高的LED荧光灯，都能起到非常良好的节电效果。同时，改造现有耗能大的供用电设备，比如中央空调、电梯和扶梯、供水设备等，都能让整座建筑和公用设备系统的耗电大幅度降低。为实现“节电能、降电耗”的目的，在建筑电气设计中还应该正确选用供配电设备，并通过科学的管理，实现其经济运行。本章主要介绍了32个建筑电器和公用设备的节电案例。

案例32　节电型交流接触器的选用

1. 应用背景分析

交流接触器是一种适用于远距离频繁接通和分断交流主电路及大容量控制电路的低压电器，是低压电器系统中使用最广泛的设备之一，生产和应用市场非常成熟。国内生产厂家有天正、正泰、德力西等，国外生产厂家有ABB、西门子、施耐德、富士等，目前国内厂家生产的绝大部分是传统电磁式交流接触器，在现场工作的保有量超亿台。

一台大、中容量的传统交流接触器在吸持功率为几十伏安至几百伏安，年耗电量为数百千瓦·时，见表3-1。如果采用节能技术制造新一代交流接触器，吸持功率仅几伏安或十几伏安，见表3-2，按照现场工作的保有量1亿台、每台年耗电量100kW·h计算，每年可节省电量100亿kW·h。

表3-1　CJ20系列交流接触器吸持功率和年耗电量

型　　号	吸持电流/mA	吸持功率/VA	年耗电量/kW·h
CJ20-63	120.0	45.6	109.4
CJ20-100	132.5	50.4	130.0
CJ20-160	212.5	80.8	193.9
CJ20-250	272.5	103.6	248.6
CJ20-400	295.0	112.1	269.0
CJ20-630	610.0	231.8	556.3

注：年耗电量按1天工作8小时，1年工作300天计算。

表3-2　新一代节能型交流接触器吸持功率和年耗电量

相应容量	63A	100A	160A	250A	400A	630A
吸持电流/mA	6.0	6.0	10.0	10.0	15.0	20.0
吸持功率/VA	2.28	2.28	3.80	3.80	5.70	7.60
年耗电量/kW·h	5.47	5.47	9.12	9.12	13.68	18.24
节电率（%）	95.0	95.5	95.3	96.3	95.0	96.7

2. 交流接触器的节电线圈

交流接触器节电线圈可分为，双绕组节电线圈、限流电阻式节电线圈、双绕组自转换节电线圈以及定位磁转换节电线圈。

双绕组节电线圈及双绕组自转换节电线圈都是由一个特殊设计的双绕组线圈组成，并将接触器的铁心巧妙地兼作变压器铁心之用，变压器的负载为半波整流电路，在绕组和绕组的合成磁动势作用下，铁心中产生脉动直流的磁通和电磁吸力，使动铁心（衔铁）吸持于闭合位置上。前者利用接触器辅助触头的分断来切换吸持节能状态，后者利用晶闸管来自动转换为吸持节能状态，其原理图如图3-1、图3-2所示。

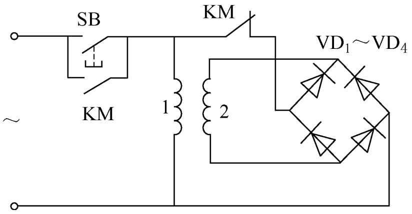


图 3-1 绕组节电线圈原理图

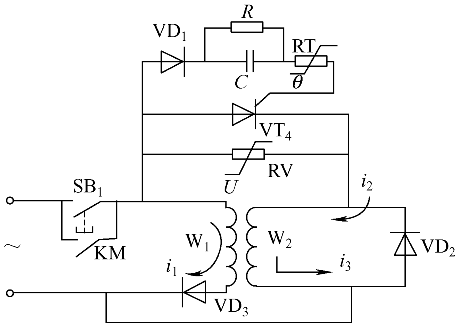


图 3-2 绕组自转换节电线圈原理图

磁转换节电线圈的原理是节电线圈内置一只磁转换继电器，其铁心为拍合式，常闭触头为单断点式，时间继电器的铁心与接触器操作电磁铁的铁心共用一个线圈，磁转换继电器是利用接触器的动铁心吸合处于不同的吸合位置时，磁系统的磁场强度发生变化，时间继电器铁心中磁场也随之改变而动作的。时间继电器的常闭触头断开后，降压电容和电阻即串入线圈电路中，降低了线圈电流，从而达到节电运行的目的，其原理图如图 3-3 所示。

限流电阻式节电线圈的原理是，由桥式全波整流提供较大直流磁动势使接触器吸合，然后通过接触器的常闭触头的断开转换到单相半波整流，并串入限流电阻使线圈得到较小的磁动势维持吸合。在设计上线圈采用匝数多、线径细和小电流的方案，吸持电流仅为数十毫安，其原理图如图 3-4 所示。

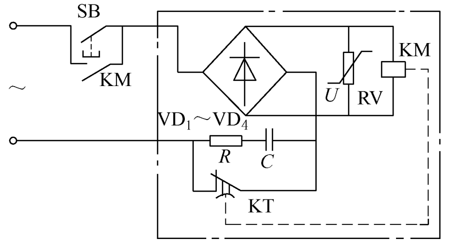


图 3-3 磁转换节电线圈的线路原理图

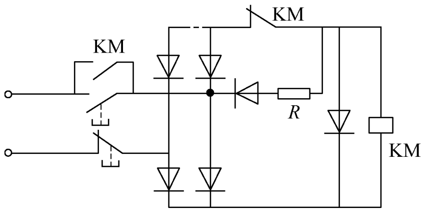


图 3-4 限流电阻式节电线圈线路原理图

案例 33 变频器在离心泵中的选用

1. 应用背景分析

通过流体力学的基本定律可知：离心泵类设备属二次方转矩负载，其转速 n 与流量 Q，压力 H 以及轴功率 P 具有如下关系：$Q \propto n$，$H \propto n^2$，$P \propto n^3$；即流量与转速成正比、压力与转速的二次方成正比、轴功率与转速的三次方成正比。图 3-5 所示为离心泵的外观。

以一台水泵为例，它的出口压头为 H_0（出口压头即泵入口和管路出口的静压力差），额定转速为 n_0，阀门全开时的管阻特性为 r_0，额定工况下与之对应的压力为 H_1，出口流量为 Q_1。流量-转速-压力关系曲线如图 3-6 所示。

图 3-5　离心泵的外观

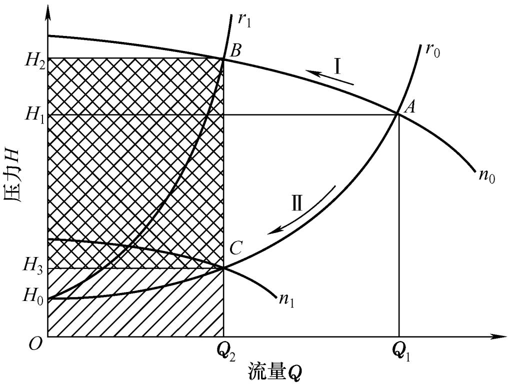


图 3-6　水泵的流量-转速-压力关系曲线

在现场控制中，要求管网压力不得低于 H_3，在此范围内调节系统供水流量。通常采用水泵定速运行，调节出口阀门开度控制流量。当流量从 Q_1 减小 50% 至 Q_2 时，阀门开度减小使管网阻力特性由 r_0 变为 r_1，系统工作点沿方向Ⅰ由原来的 A 点移至 B 点；受其节流作用使得泵口压力由 H_1 变为 H_2，管网压力则因为节流原因降至 H_3。

水泵轴功率实际值（kW）可由如下公式得出：

$$P = QH/(\eta_c\eta_b) \times 10^{-3} \tag{3-1}$$

式中，P、Q、H、η_c、η_b 分别表示功率、流量、压力、水泵效率、传动装置效率（如直接传动为 1）。假设总效率（$\eta_c\eta_b$）为 1，则水泵由 A 点移至 B 点工作时，电动机节省的功耗为 AQ_1OH_1 和 BQ_2OH_2 的面积差。如果采用调速手段改变水泵的转速 n，当流量从 Q_1 减小 50% 至 Q_2 时，那么管网阻力特性为同一曲线 r_0，系统工作点将沿方向Ⅱ由原来的 A 点移至 C 点，水泵的运行也更趋合理。在阀门全开，只有管网阻力的情况下，系统满足现场的流量要求，能耗势必降低。此时，电动机节省的功耗为 AQ_1OH_1 和 CQ_2OH_3 的面积差。比较采用阀门开度调节和水泵转速控制，显然使用水泵转速控制更为有效合理，具有显著的节能效果。

另外，从图 3-6 中还可以看出：阀门调节时将使系统压力 H 升高，这将对泵体和阀门的密封性能形成威胁和破坏；而转速调节时，系统压力 H 将随泵转速 n 的降低而降低，因此不会对系统产生不良影响。

从上面的比较不难得出：当现场对水泵流量的需求从 100% 降至 50% 时，采用转速调节将比原来的阀门调节节省 BCH_3H_2 所对应的功率大小，理论节能率在 75% 以上。

与此相类似的，如果采用变频调速技术改变泵类转速来控制现场压力、温度、水位等其他过程控制参量，同样可以依据系统控制特性绘制出关系曲线得出上述的比较结果。因此，采用变频调速技术改变电动机转速的方法，要比采用阀门、挡板调节更为节能经济，设备运行工况也将得到明显改善。其接线方式如图 3-7 所示。

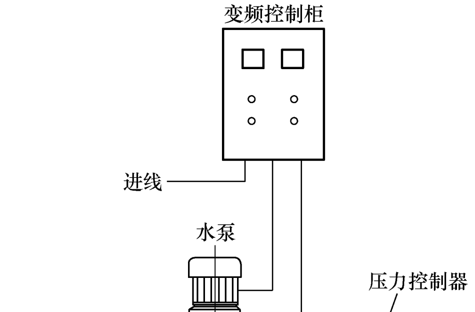


图 3-7　水泵与变频器的控制应用

2. 变频器在离心泵上的控制特点

变频器控制离心泵具有以下几个特点：

1）自诊断连续运行：用于生产设备中的泵经常会由于电源干扰发生跳闸事故，且原因难以查找。发生异常工况时，变频器首先进行自诊断，如果系统没有问题则自动复位后再起动。

2）免跳闸运行功能：泵传动具有下降转矩特性，其有效的过载保护功能是使其运行在过转矩检测方式下。此时，一旦达到设定的过载电流值，变频器的输出频率就降低，即在运行中失速。

3）电磁噪声：把变频器应用于泵负载时，还应该注意电动机产生的电磁噪声。可在变频器与电动机之间装设电抗器，为阻抗的3%～4%。

4）电动机的温升：利用变频器对通用电动机调速时，流过电动机的电流比应用工频电源时的电流约大5%，特别是低速运行时，电动机冷却风扇的能力下降，此时必须降低负载转矩或限定运行时间等。

案例34　变频器在离心风机上的选用

1. 应用背景分析

离心风机是目前应用最广泛的风机，是风机节能的主要对象（见图3-8a）。造成风机能耗大的主要原因是由于运行中的风机大量采用挡板（见图3-8b）、阀门等调节方式。这种方式虽简便易行，但在调节过程中将产生大量的能量损耗。

离心风机的工作原理是，原动机通过轴驱动叶轮高速旋转，气流由进口轴向进入高速旋转的叶轮后变成径向流动被加速，然后进入扩压腔，改变流动方向而减速，这种减速作用将高速旋转的气流中具有的动能转化为压能（势能），使风机出口保持稳定压力。

a) 离心风机

b) 风机挡板

图3-8　离心风机和风机挡板的外观

2. 离心风机应用变频器的能耗分析

从理论上讲，“离心风机的压力-流量特性”曲线是一条直线，但由于风机内部存在摩擦阻力等损耗，实际的压力与流量特性曲线随流量的增大而平缓下降，对应的离心风机的功率-流量曲线随流量的增大而上升。当风机以恒速运行时，风机的工况点将沿压力-流量特性曲线移动。风机运行时的工况点，不仅取决于本身的性能，而且取决于系统的特性，当管网阻力增大时，管路性能曲线将变陡。

风机调节的基本原理就是通过改变风机本身的性能曲线或外部管网特性曲线，以得到所需工况。用变频器改变交流电动机的转速方式来进行风机流量的控制，可以大幅度减少以往机械方式调控流量造成的能量损耗。

图3-9所示曲线1和2表示变频调速时的压力-流量曲线，曲线3和4表示常规的节流调节时管路阻力特性曲线，曲线5表示恒速时功率-流量曲线，设A点为风机最大工况点。当风量需从Q_1减少到Q_2时，如果采用节流调节法，工况点由A到B，风压增加到H_2，由图中

可看出轴功率 P_2下降，但减少的不太多。如果采用变频调节方式，风机工况点由 A 到 C，可见在满足同样风量 Q_2情况下，风压 H_3将大幅度下降，功率 P_3随着显著减少。节省的功率损耗 $\Delta P=\Delta HQ_2$与图中面积 BH_2H_3C 成正比。

由以上分析可知，变频调节离心风机是一种高效的调节方式。离心风机采用变频调节，不会产生附加压力损耗，节能效果显著，调节风量范围 0% ~100%，适合调节范围宽，且经常处于轻载下运行的场合。

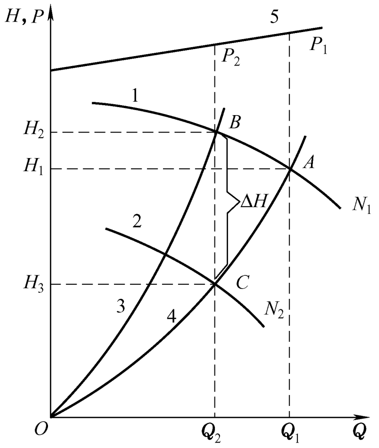


图 3-9 变频调节时风机的性能曲线

由风机比例定律：

$$Q_1/Q_2=(n_1/n_2),H_1/H_2=(n_1/n_2)^2,P_1/P_2=(n_1/n_2)^3 \quad (3\text{-}2)$$

可知，当其转速降低到原额定转速的一半时，对应工况点的流量、压力、轴功率各下降到原来的 1/2、1/4、1/8，这就是变频调节方式可以大幅度节电的原因。

案例 35 升降电梯的节电

1. 工作原理概述

升降电梯（以下简称电梯）是一种以电动机为动力的垂直升降机，装有轿厢吊舱，用于多层建筑乘人或载运货物。图 3-10 所示为电梯工作示意。

现代电梯主要由曳引机（绞车）、导轨、对重装置、安全装置（如限速器、安全钳和缓冲器等）、信号操纵系统、轿厢与厅门等组成。这些部分分别安装在建筑物的井道和机房中，如图 3-10 所示，电梯通常采用钢丝绳摩擦传动，钢丝绳绕过曳引轮，两端分别连接轿厢和平衡重块，曳引电动机通过减速器驱动曳引轮使轿厢升降。

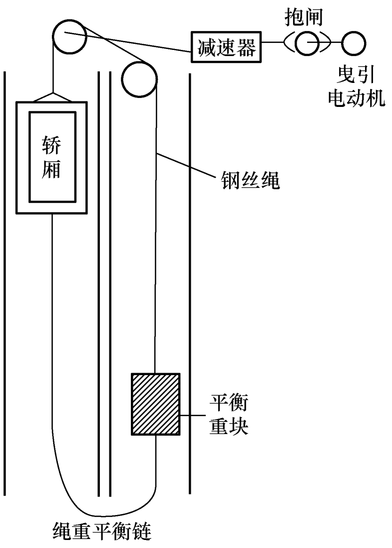


图 3-10 电梯工作示意

2. 电梯能耗预测模型与实测

电梯是一个耗能设备，其能耗测量方法可以采取以下步骤进行：

1）将电能表连接到主电源或者辅助设备电源的测量点上。测量并记录电源电压，并设置电能表用于测量有功电能。

2）将电梯设置成在两端站间自动循环运行模式，先将轿厢运行至底层端站，至少运行 10 个循环后停止。

3）用总能量除以循环次数，得到一个平均值，即是电梯运行一个循环的能耗值。

当然，电梯的能耗也可以采用预测模型进行预估。在一般情况下，电梯能耗预测计算公示为

$$E_{\text{elevator}}=(K_1K_2K_3HFP)/(V\times 3600)+E_{\text{standby}} \quad (3\text{-}3)$$

式中　$E_{elevator}$——电梯在一年内使用的能量（kW·h/年）；

K_1——驱动系统系数：

$K_1=1.6$（对于交流调压调速驱动系统）；

$K_1=1.0$（对于变频器VVVF驱动系统）；

$K_1=0.6$（对于带能量反馈的变频器VVVF驱动系统）；

K_2——平均运行距离系数：

$K_2=1.0$（对于2层）；

$K_2=0.5$（对于单梯或两台且超过2层）；

$K_2=0.3$（对于3台及以上的电梯群）；

K_3——轿内平均载荷系数，$K_3=0.35$；

H——最大运行距离（m）；

F——年起动次数，一般在100000~300000之间；

P——电梯的额定功率（kW），$P=P_1\times P_0$；

其中：P_1 为与平衡系数相关的系数；

$P_1=1.0$（平衡系数为50%时）；

$P_1=0.8$（平衡系数为40%时）；

$P_0=$（0.5×额定载重量×额定速度×g_{gn}）/（1000×$\eta_s\eta_g\eta_m$）；

η_s悬挂效率，$\eta_s=0.85$；

η_m传动效率，$\eta_m=0.75$（蜗载蜗杆传动系统）；

$\eta_g=1.0$（无齿轮传动系统）；

η_m电动机效率，$\eta_m=0.75$（交流调压调速驱动系统）；$\eta_m=0.85$（VVVF驱动系统）；

$g_{gn}=9.81\text{m/s}^2$；

V——电梯速度（m/s）；

$E_{standby}$——一年内使用的待机时的总能量（kW·h/年）。

待机时，电梯主电源能耗和辅助设备能耗的测量方法为，将电能表连接到主电源或者辅助设备电源的测量点上，测量并记录电源电压，并设置电能表用于测量有功电能；保持轿厢停止在底层端站5min；根据测量的能量值换算为每小时的能耗值（单位：kW·h）。

以下是举例说明电梯的能耗预测计算。

某台乘客电梯技术参数：

1）额定载重量：$Q=1000$kg；

2）额定速度：$V=1.6$m/s；

3）驱动系统：变频器VVVF驱动；

4）层站数：15层15站；

5）提升高度：$H=50$m；

6）平衡系数：$\Psi=40\%$；

7）传动方式：无齿轮传动；

8）一年待机总能量：$E_{standby}=5469$kW·h；

9）一年运行次数：$F=300000$次。

该电梯能耗计算：

$$E_{elevator} = (K_1K_2K_3HFP)/(V \times 3600) + E_{standby}$$
$$= \{1.0 \times 0.5 \times 0.35 \times 50 \times 300000 \times [0.8 \times (0.5 \times 1000 \times 1.6 \times 9.81)/(1000 \times 0.85 \times 1.0 \times 0.85)]/(1.6 \times 3600) + 5469\} \text{kW} \cdot \text{h}$$
$$= 9429 \text{kW} \cdot \text{h}$$

3. 电梯节电的方法

从电梯耗能预测模型可以知道，采用不同的驱动方式，其耗能情况大不相同。目前，大部分电梯已经采用变频器 VVVF 驱动，但它还是有大量的节能空间。这是因为采用变频调速的电梯起动运行达到最高运行速度后具有最大的机械动能，电梯到达目标层前，要逐步减速直到电梯停止运动为止，这一过程是电梯曳引机释放机械动能的过程。升降电梯还是一个势能性负载。为了均匀拖动负载，电梯曳引机拖动的负载由载客轿厢和平衡重块组成，只有当轿厢载重量约为 50%（1t 载客电梯乘客为 7 人左右）时，轿厢和平衡重块才相互平衡，否则轿厢和平衡重块就会有质量差，使电梯运行时产生机械势能（电梯重载下行和轻载上行）。节电原理如图 3-11 所示。

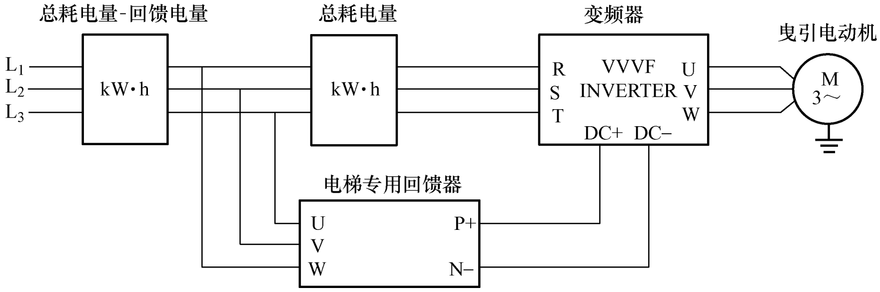


图 3-11　电梯节电原理

电梯运行中多余的机械能（含势能和动能），通过曳引机和变频器转换成直流电能储存在变频器直流回路中的电容中。此时电容就好比是一个小水库，回送到电容中的电能越多，电容电压就越高（好比水库水位超高），如不及时释放电容器储存的电能，就会产生过电压故障，造成变频器停止工作，电梯无法正常运行。目前，国内绝大多数变频调速电梯均采用电阻消耗电容中储存电能的方法来防止电容过电压，但是电阻耗能不仅降低了系统的效率，电阻产生的大量热量还恶化了电梯控制柜周边的环境。电梯回馈节能产品的出现很好地解决了这一难题。

使用电梯回馈节能产品后，能有效地将电容中储存的直流电能转换成交流电能回送到电网。节电率达 15% ~40%。此外，由于无电阻发热元件，降低了机房的环境温度，同时也改善了电梯控制系统的运行温度，使控制系统不再死机，延长电梯使用寿命。机房可以不再使用空调等散热设备，可以节省机房空调和散热设备的耗电量，节能环保，使电梯更省电。在许多场合，节约空调耗电量往往带来更大的节电效果。

案例 36　自动扶梯的节电

1. 工作原理概述

图 3-12 所示的自动扶梯是带有循环运行梯级、用于向上或向下倾斜输送乘客的固定电

力驱动设备。自动扶梯按用途分有公共场所用自动扶梯、公共交通型自动扶梯和人行天桥用自动扶梯等。

自动扶梯由驱动装置带动主驱动轴及链轮，梯级链轮以及扶手带链轮在其导轨上运动，带动梯级及扶手带循环运动。其总体结构主要有桁架、驱动装置、运载系统、扶手装置、润滑系统、变频器、安全装置、室外自动扶梯防盗防水防尘设施等组成。

图 3-12　自动扶梯的外观

2. 自动扶梯的耗能现状

按目前的有关技术标准，自动扶梯的工作繁忙程度可以分为普通型和公共交通型两种。最典型最常见的公共交通型自动扶梯是设置于地铁站内的出站上行自动扶梯。通过对这种扶梯进行实地测试结果表明，每当地铁到站后，蜂拥的人流在自动扶梯上持续的时间大约为45s左右，如果按每3min一班地铁计算，扶梯的“负载持续率”也仅为25%左右，其余时间扶梯都是在空载或很低的负载下运行。公共交通型自动扶梯尚且如此，其余普通型自动扶梯的情况就更不必说了。因此，对自动扶梯采取节能措施是非常必要的。

3. 自动扶梯的节电方法

大多数扶梯在客流量大的时候，工作于额定的运行状态，在没有乘客时仍以额定速度运行，具有耗能大、机械磨损严重、使用寿命低等缺点。采用PLC与变频控制相结合的节能控制系统，已成为自动扶梯控制技术的发展方向。

带有节能效果的自动扶梯具有以下特点：

1）无人乘梯时，扶梯自动平稳过渡到节能运行，以1/3～1/5额定速度运行（可以选择当无人乘梯时，扶梯自动停止的功能）；

2）有人乘梯时，扶梯立即自动平稳过渡到额定速度运行；

3）由于节能运行时速度很低，机械部分的磨损大大降低，相对延长了扶梯的使用寿命；

4）变频技术的采用大大降低了扶梯起动时对电网的冲击。

这里以变频非自起动（快慢循环）扶梯为例进行说明。

（1）功能描述

通过增加变频器来控制扶梯运行的速度，当梯上有乘客时，扶梯以高速运行（例如额定速度），提高客流量，当乘客检测装置在一段时间内没有检测到乘客通过时，扶梯开始减速转为低速运行（例如0.2m/s，参数可设置），此时一直处于待机运行中，即为非自起动节能。

（2）运行步骤（见图3-13）

1）当扶梯上电停止等待，有方向（比如上行）开始运行时，此时扶梯以低速开始节能运行进入待机等待；

2）下机房乘客检测装置检测是否有人通过，当有人通过时，控制器内部的高速运行时间计数器（记为 T_C）清零，此时扶梯开始缓慢加速至高速运行；

3）高速运行时间计数器（记为 T_C）开始计数；

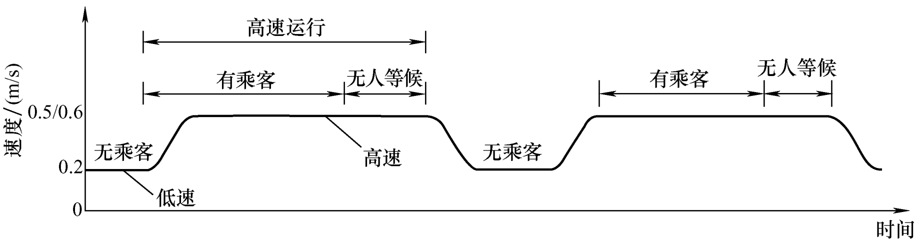


图 3-13　自动扶梯快慢循环控制时序图

4）当有一段时间没人乘梯即 $T_C \geqslant T_Q$（T_Q 为设定的等待时间）时，扶梯又开始减速进入低速运行待机等待状态，如此循环往复运行。

（3）控制系统框图（见图 3-14）。

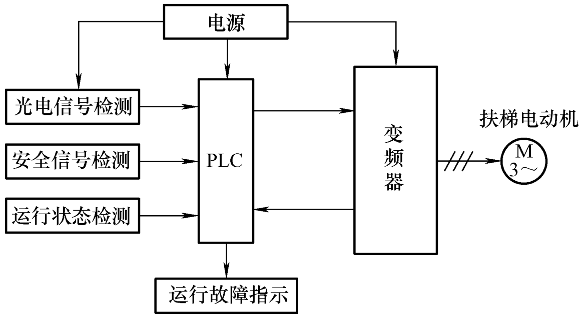


图 3-14　控制系统框图

案例 37　中央空调冷水机组的节电

1. 工作原理概述

中央空调冷水机组的组成如图 3-15 所示。它主要由制冷机、冷却水循环系统、冷冻水循环系统、风机盘管系统和冷却塔组成。

中央空调冷水机组的工作原理为，制冷机通过压缩机将制冷剂压缩成液态后送蒸发器中与冷冻水进行热交换，将冷冻水制冷，冷冻泵将冷冻水送到各风机风口的冷却盘管中，由风机吹送达到降温的目的。经蒸发后的制冷剂在冷凝器中释放出热量成气态，冷却泵将冷却水送到冷却塔上由水塔风机进行冷却（见图 3-16）。

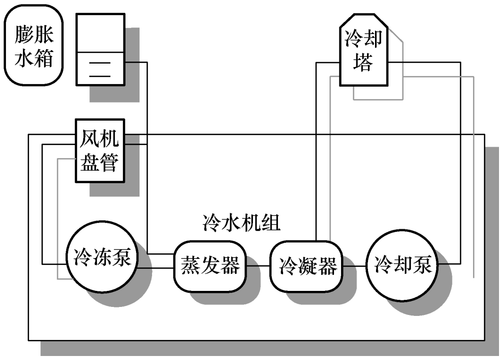


图 3-15　中央空调冷水机组的组成

中央空调系统主要由以下几个部分组成：

1）冷水主机：这是中央空调的“制冷源”“心脏”，通往各个房间循环水由冷水机组进行“内部交换”，降温为“冷却水”。

2）冷却塔：用于为冷水机组提供冷却水。

3）外部热交换系统：由两个循环水系统组成。一是冷冻水循环系统，由冷冻泵及冷冻

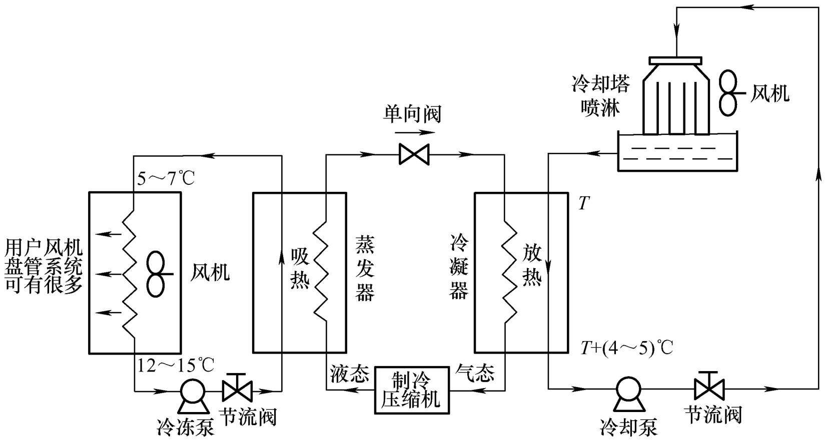


图 3-16 中央空调冷水机组的工作原理

水管道组成。从冷水机组流出的冷冻水由冷冻泵加压送入冷冻水管道，在各个房间内进行热交换，带走房间内热量，是房间内的温度下降。另外一个是冷却水循环系统，由冷却泵及冷却水管道及冷却塔组成。冷水机组进行热交换，在水温冷却的同时，必将释放大量的热量，该热量被冷却水吸收，使冷却水温度升高。冷却泵将升了温的冷却水压入冷却塔，使之在冷却塔中与大气进行热交换，然后才成为降了温的冷却水。

4）冷却风机：一种是室内风机，安装于所需要降温的房间内，用于将由冷冻水冷却了的空气吹入房间，加速房间内的热交换。另外一种是冷却塔风机。用于降低冷却塔的水温，加速将“回水”带回的热量散发到大气中去。

2. 水泵系统的节电

由于设计时，中央空调系统必须按天气最热、负载最大时设计，并且留 10% ~20% 设计余量，然而实际上绝大部分时间空调是不会运行在满负载状态下，存在较大的富余，所以节能的潜力就较大，其中冷冻主机可以根据负载变化随之加载或减载，冷冻水泵和冷却水泵却不能随负载变化做出相应调节，存在很大的浪费。

水泵系统的流量与压差是靠阀门和旁通调节来完成，因此不可避免地存在较大截流损失和大流量、高压力、低温差的现象，不仅大量浪费电能，而且还造成中央空调最末端达不到合理效果的情况。为了解决这些问题需使水泵随着负载的变化调节水流量并关闭旁通。

再因水泵采用的是Y-△起动方式，电动机的起动电流均为其额定电流的 3 ~4 倍，一台 90kW 的电动机其起动电流将达到 500A，在如此大的电流冲击下，接触器、电动机的使用寿命将大大下降，同时起动时的机械冲击和停泵时水垂现象，容易对机械散件、轴承、阀门、管道等造成破坏，从而增加维修工作量和备品、备件费用。因此，为了节约能源和费用，需对水泵系统进行改造，采用成熟的变频器来实现，以便达到节能和延长电动机、接触器及机械散件、轴承、阀门、管道的使用寿命。

中央空调系统通常分为冷冻（媒）水和冷却水两个系统（见图 3-17，左半部分为冷冻（媒）水系统，右半部分为冷却水系统）。根据国内外最新资料介绍，并多处通过对在中央空调水泵系统进行闭环控制改造的成功范例进行考察，现在水泵系统节能改造的方案大都采用变频器来实现。

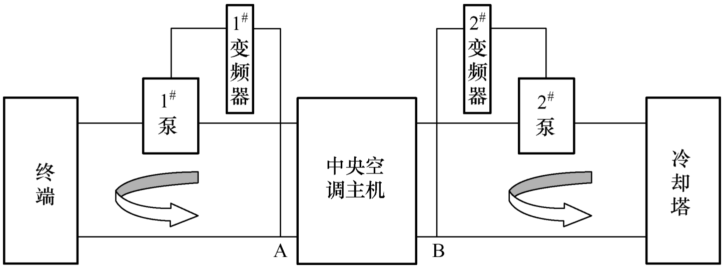


图 3-17　水泵系统的变频器应用

（1）冷冻水泵系统的闭环控制

该方案在保证最末端设备冷冻水流量供给的情况下，确定一个冷冻泵变频器工作的最小工作频率，将其设定为下限频率并锁定，变频冷冻水泵的频率调节是通过安装在冷冻水系统回水主管上的温度传感器检测冷冻水回水温度，再经由温度控制器设定的温度来控制变频器的频率增减，控制方式是，冷冻回水温度大于设定温度时频率无极上调。

（2）冷却水系统的闭环控制

目前，在冷却水系统进行改造的方案最为常见，节电效果也较为显著。该方案同样在保证冷却塔有一定的冷却水流出的情况下，通过控制变频器的输出频率来调节冷却水流量，当中央空调冷却水出水温度低时，减少冷却水流量；当中央空调冷却水出水温度高时，加大冷却水流量，从而达到在保证中央空调机组正常工作的前提下达到节能增效的目的。

案例 38　中央空调冷却塔风机的节电

1. 概述

在中央空调水冷式机组中，使用循环冷却水是最常用的方法之一。为了使机组中加热了的水再降温冷却，重新循环使用，常使用冷却塔。风机为机械通风冷却塔的关键部件，通常都采用户外立式冷却塔专用电动机，具有效率高、耗电省、防水性能好等特点。水在冷却塔滴下时，冷却风机使之与空气较充分的接触，将热量传递给周围空气，将水温降下来。

由于冷却塔的设备容量是根据在夏天最大热负载的条件下选定的，也就是考虑到最恶劣的条件，然而在实际设备运行中，由于季节、气候、工作负载的等效热负载等诸多因素都决定了机组设备经常是处于在较低热负载的情况下运行，所以机组的耗电常常是不必要的和浪费的。因此，使用变频调速控制冷却风机的转速，在夜间或在气温较低的季节气候条件下，通过调节冷却风机的转速和冷却风机的开起台数，节能效果就非常显著了。

冷却水系统能耗是空调系统总能耗的重要组成部分之一。采用阀门对冷却水流量进行调节将导致能量无谓的浪费，在部分负载时固定冷却水流量以及不对冷却塔风机电动机进行控制也将浪费大量电能。如采用微机控制技术和变频调速技术对冷却水系统进行控制节能效果约为 30%，具有显著的节能效益。

2. 典型的冷却塔风机控制方式

在典型的冷却塔风机控制系统中，变频器可以利用内置 PID 功能，可以组成以温度为控制对象的闭环控制。图 3-18 所示为典型的冷却塔变频控制原理，冷却塔风机的作用是将出水温度降到一定的值，其降温的效果可以通过变频器的速度调整来进行。被控量（出水温度）与设定值的差值经过变频器内置的 PID 控制器后，送出速度命令并控制 PWM 输出，最

终调节冷却塔风机的转速。

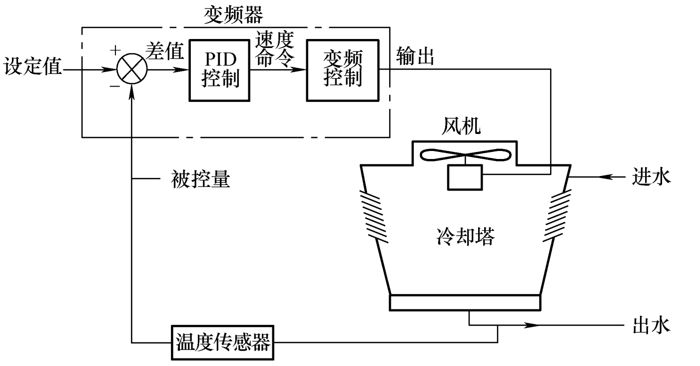


图 3-18　冷却塔风机变频控制原理

在这里，温度信号给定量通过变频器操作面板的参数进行设定，温度反馈量通过出水管路中的温度检测以 4～20mA 的电流形式从变频器的 R 口输入（以安川变频器为例，见图 3-19），然后通过设置合理的 PI 参数（K_p = 80% 比例增益；K_i = 30s 积分时间；T = 5s 采样周期；10% 偏差极限）就可以获得满意的闭环控制。

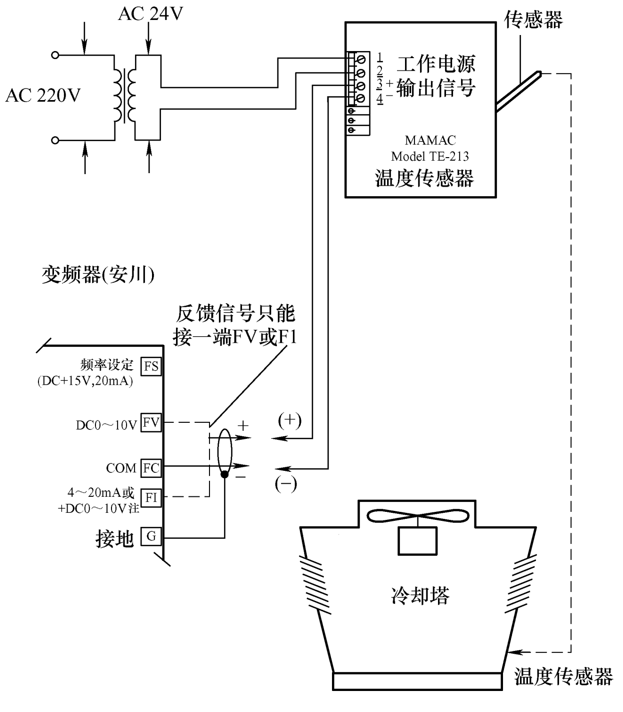


图 3-19　冷却塔风机变频接线示意

注：本例中信号选用 4～20mA，按 F1，同时参数 n043 设为 0，同时设置好跳线 J1。

案例 39　中央空调变频送风机的选用

1. 变频送风机概述

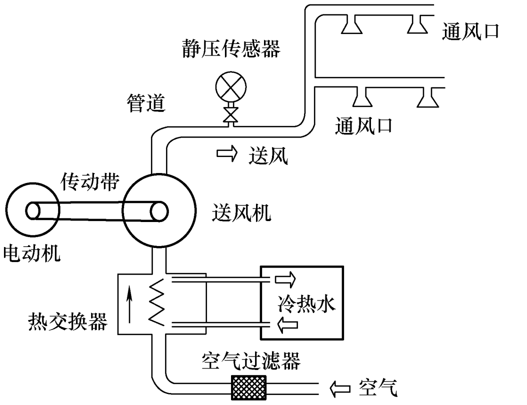
目前的中央空调系统中，变频送风机正在被广泛使用，其有如下突出的优点：节能潜力

大，控制灵活，可避免冷冻水、冷凝水上顶棚的麻烦等。然而变频风机系统需要精心设计，精心施工，精心调试和精心管理，否则有可能产生诸如新风不足、气流组织不好、房间负压或正压过大、噪声偏大、系统运行不稳定、节能效果不明显等一系列问题。

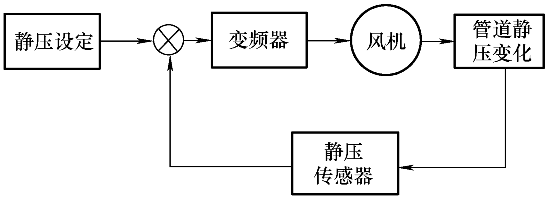
2. 变频风机的静压 PID 控制方式

送风机的空气处理装置是采用冷热水来调节空气温度的热交换器，冷、热水是通过冷、热源装置对水进行加温或冷却而得到的。大型商场、人员较集中且面积较大的场所常使用此类装置。图 3-20a 所示给出了一个空气处理装置中送风机的静压控制系统。

在第一个空气末端装置的 75% ~100% 处设置静压传感器，通过改变送风机入口的导叶或风机转速的办法来控制系统静压。如果送风干管不只一条，则需设置多个静压传感器，通过比较，用静压要求最低的传感器控制风机。风管静压的设定值（主送风管道末端最后一个支管前的静压）一般取 250 ~375Pa 之间。若各通风口挡板开启数增加，则静压值比给定值低，控制风机转速增加，加大送风量；若各通风口挡板开启数减少，静压值上升，控制风机转速下降，送风量减少，静压又降低，从而形成了一个静压控制的 PID 闭环（见图 3-20b）。



a) 工艺流程



b) PID控制原理

图 3-20 中央空调送风机的静压控制

在静压 PID 控制算法中，通常采用两种方式，即定静压控制法和变静压控制法。定静压控制法是系统控制器根据设于主风道 2/3 处的静压传感器检测值与设定值的偏差，变频调节送风机转速，以维持风道内静压一定。变静压控制法即利用 DDC 数据通信技术，系统控制器综合各末端的阀位信号，来判断系统送风量盈亏，并采用变频器调节送风机转速，满足末端送风量需要。由于变静压控制法在部分负载下风机输出静压低，末端风阀开度大、噪声低，风机节能效果好，同时又能充分保证每个末端的风量需要。

控制管道静压的好处是有利于系统稳定运行并排除各末端装置在调节过程中的相互影响。此种静压 PID 控制方式特别适合于上下楼或被隔开的各个房间内用一台空气处理装置和公用管道进行空气调节的场合，如商务大厦的标准办公层都得到了广泛的应用。

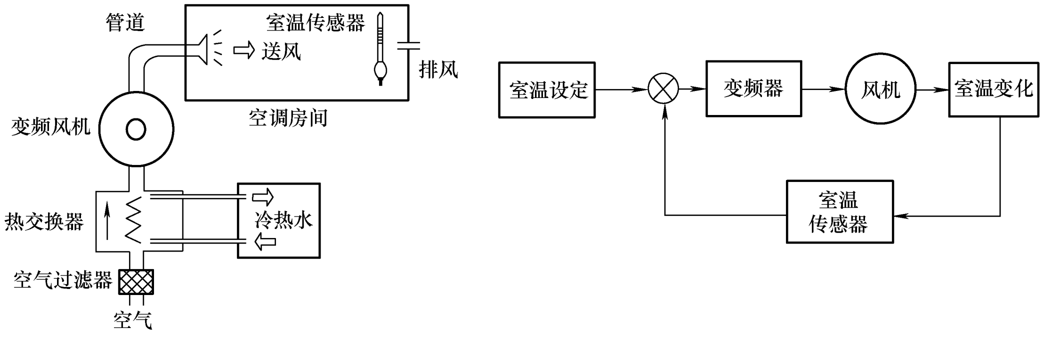
3. 变频风机的恒温 PID 控制方式

在室内空调要求有诸如舒适性等要求较高而空间又不是太过于大的空调区域内，可以使用恒温控制。恒温控制中必须注意以下几个方面：温控系统的热容量比较大，控制指令发出后，不是瞬间响应，响应速度慢；外界条件如气温、日照等对温控系统的影响很大；因为控

制对象为气体，温度检测传感器的安装位置非常重要。

如图 3-21 所示的控制方式利用了变频器内置的 PID 算法进行温度控制，当通过传感器采集的被测温度偏离所希望的给定值时，PID 程序可根据测量信号与给定值的偏差进行比例（P）、积分（I）、微分（D）运算，从而输出某个适当的控制信号给执行机构（即变频器），提高或降低转速，促使测量值室温恢复到给定值，达到自动控制的效果，如图 3-21b 所示。比例运算是指输出控制量与偏差的比例关系。积分运算的目的是消除静差。只要偏差存在，积分作用将控制量向使偏差消除的方向移动。比例作用和积分作用是对控制结果的修正动作，响应较慢。微分作用是为了消除其缺点而补充的。微分作用根据偏差产生的速度对输出量进行修正，使控制过程尽快恢复到原来的控制状态，微分时间是表示微分作用强度的单位。

恒温控制中必须要注意 PID 的正作用和反作用，也就是说在夏季（使用冷气）和冬季（使用暖气）是不一样的。在使用冷气中，如果检测到的温度高于设定温度时，变频器就必须加快输出频率；而在使用暖气中，如果检测到温度高于设定温度时，变频器就必须降低输出频率。因此，必须在控制系统增设夏季/冬季切换开关以保证控制的准确性。



a) 工艺流程　　b) PID控制原理

图 3-21　变频风机的恒温控制

4. 变频风机的多段速变风量控制方式

在大型的空调大楼中，由于所需要的空气量是随着楼内人数及昼夜大气温度的变化而不同，所以相应地对风量进行调节可以减少输入风机的电能并调整主机的热负载。人少时，如周末、星期日、节假日，空气需求量少。所以考虑这些具体情况来改变吸气扇转速，控制进风量，可减少吸气扇电动机的能耗，同时还可以减轻输入暖气时锅炉的热负载和输入冷气时制冷机的热负载。

图 3-22 所示为某大楼在不同的工作时段内（平时、周六、周日或节假日）的风量需求量，该风量必须根据二氧化碳浓度等环境标准来确定最少必需量。由于通常在设计中都留有一定的余量，因此可以按高速时 86%、中速

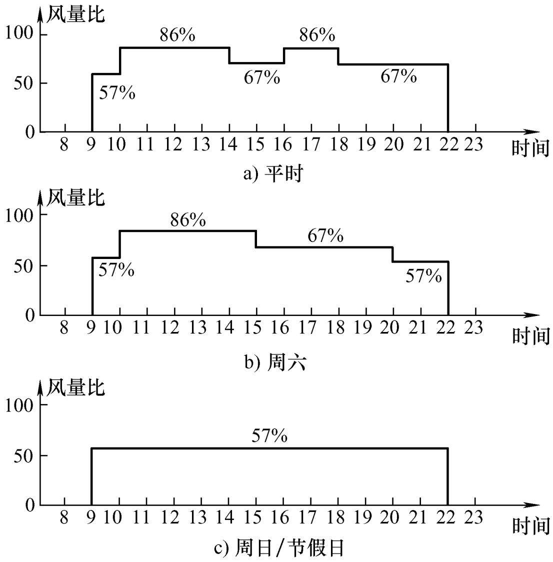


图 3-22　变频风机的多段速控制

时 67%、低速时 57% 的进风量来进行多段速控制。

该控制方式是基于对风量需求进行经验估算的基础上进行的程序控制。

如在某地铁线的车站内安装有 2 个体积小巧的可开启表冷器和 4 台变频风机，整个系统由电脑控制。工作人员首先按照地铁客流峰谷表编好调温程序，控制风机转速：高峰时车站温度高，变频风机吹出较大风量；人少时车站里温度相对较低，风机风量较小，从而站台的温度可控制在 29℃，站厅温度控制在 30℃，乘客舒适度大为提高。

案例 40　酒店空调风机盘管的节电

1. 工作原理概述

中央空调系统多应用于高档写字楼及酒店，以下以酒店为例进行讲述。

风机盘管是中央空调系统使用最广的末端设备。风机盘管主要由风机，换热盘管和机壳组成，按风机盘管机外静压可分为标准型和高静压型、按换热盘管排数可分为两排和三排，换热盘管一般是采用铜管串铝翅片，风机一般采用双进风前弯形叶片离心风机，电动机一般采用电容式 4 极单相电动机、三档转速。风机盘管的工作原理如图 3-23 所示。

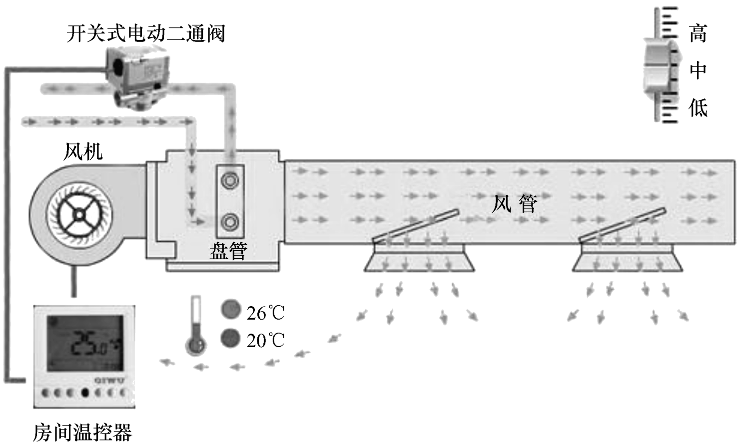


图 3-23　风机盘管的工作原理

2. 风机盘管耗能现状

风机盘管的合理控制和使用不仅直接影响空调效果，也是保证系统正常运行和降低空调能耗的重要环节。在以往的设计中，酒店客房风机盘管的电源一般不是由客房的配电箱供电，而是由本楼层的专用空调系统的配电箱供电。

当客人入住酒店后，往往会将房间的灯具、风机盘管等用电负载开启，虽然客人外出办事离开房间后，拔掉插卡式节能钥匙开关，可将客房的受控的电源断开，但有的客人为了再次进入房间有一个舒适的温度，并不会关掉风机盘管电源，使其继续工作，造成能源大量浪费现象。因此，对风机盘管的控制进行改进，从而降低酒店的空调能耗。

3. 风机盘管的节电改进方法

通常客人在进入客房后会将室内恒温器（带风机三速开关）开启，并设置所需的室内温度值，这时风机处在工作状态。当室内温度超过设定的温度时，恒温器的触点会接通，电动阀被打开。系统对室内提供冷（热）气。如果房间在无客人时，室内恒温器（带风机三

速开关）仍处在开启状态，那么风机也是处在工作状态，只是电动阀随设定温度的变化开启和关闭，向室内断续送冷（热）气。这就是被忽视的一种浪费现象。

为了杜绝这种能源大量浪费，可以采取以下措施：将风机盘管的电源改为由客房的配电箱供电，并将其控制电路稍作改进，使风机低速工作（见图 3-24）。即采用延时继电器（KT2）控制，该延时继电器能使负载按设定的时间（15min/h）重复通电或断电，从而使

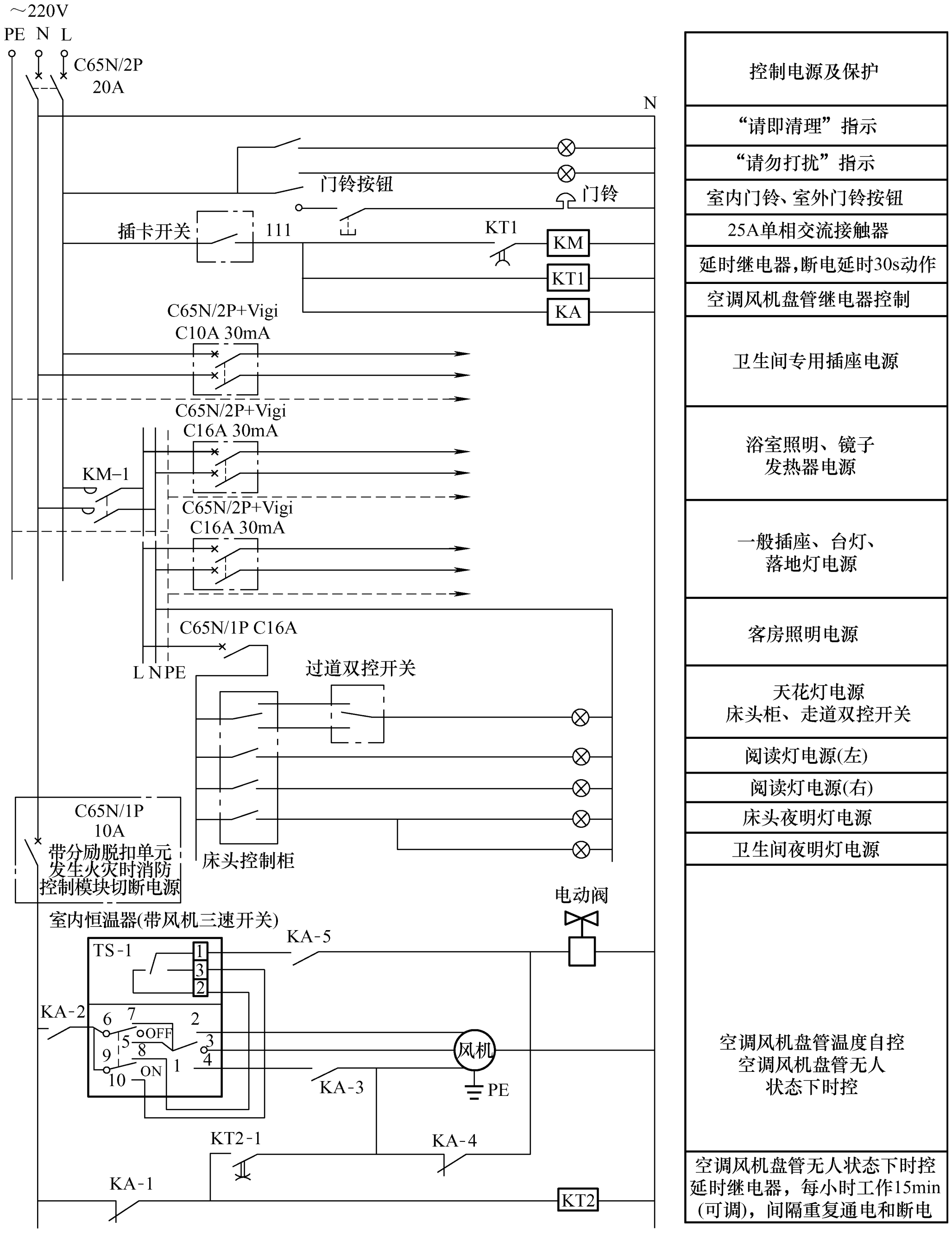


图 3-24　酒店风机盘管节电改装示意

风机盘管在房间无客人的情况下，处在 1/4 时间低速工作状况。这样既可改变空调能源浪费的现象，又可使客人再次进入房间有一个预制冷（热）的温度。一旦客人办理完退房手续后，服务员在检查房间的时候，将内恒温器（带风机三速开关）拨到“OFF”档，风机盘管、电动阀电源断开，客房空调系统随即停止工作。

案例 41　中央空调系统设计裕量的节能

1. 工作原理概述

中央空调的节能首先从设计说起，大型楼宇的设计师们绞尽脑汁采用各种可能的办法减少大楼的冷量（热量）需求，同时想方设法使所设计的空调系统能耗最低。但实际上，由于我国暖通行业的某些设计规范和标准还是比较落后的，同时中央空调系统在建成后试运行时，并没有关于能耗的验收标准限制，设计师同建设者们更担心的是冷量不够，因此往往导致设计系统裕量过大。

另外，中央空调是由许多种类的功能设备组成的，各单元设备的运行状态与其他单元设备相关联，彼此影响，且各功能设备又有自己的运行特征，而常见的由自动化控制专家们打造的自控系统往往并不能按他们预设的那样完成对中央空调系统的节能运行控制。各种因素作用的结果就是，现行的中央空调运行能耗浪费极大，设计裕量造成的能耗浪费集中反映在冷量的输送能耗上。

2. 工作原理概述

针对输送能耗设计偏大的节能措施主要有以下几种。

（1）阀门控制

关小水泵出口阀门，可以使水泵实际运行的工作点 $P_{运}$ 向设计工作点 $P_{设}$ 移动。关小阀门：$K \to K_1$ 采用这个方法不能完全解决设计裕量过大造成的输送能耗浪费，因为部分多余的能量在阀门上损耗掉了。而且阀门的有效调节范围有限，水泵设计的扬程与系统阻力损失差距过大时，往往不能全依靠阀门的调节，使水泵工作点由 $P_{运}$ 移到 $P_{设}$，只能接近于 $P_{设}$（见图 3-25）。

（2）切削叶轮

切削叶轮是解决设计裕量造成浪费的最简单、最经济的解决办法。通过切削叶轮，减小叶轮直径，使水泵的扬程降低，水泵运行工作点达到或接近于 P。采用这个方法受所选水泵型号的最小叶轮直径限制，一般的水泵型号确定后，其同一蜗壳可以与一系列直径的叶轮相匹配，叶轮直径大小直接决定水泵能给出的最大扬程。因此，往往系统设计裕量过大时，同型号的最小的叶轮直径的泵，不能使水泵工作点移到 P，只能做到比较接近，在这种情况下，就不能完全解决问题，只能使浪费情况得到部分改善（见图 3-26）。

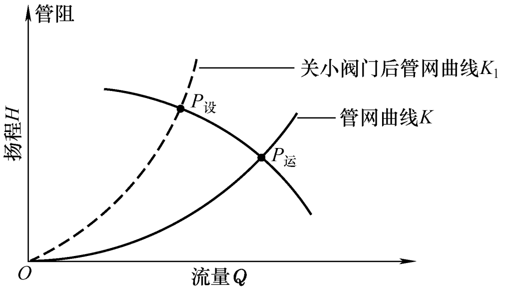


图 3-25　阀门控制曲线简图

（3）加装变频器

对水泵加装变频器，使水泵在较低的转速下运转是相比之下最彻底的解决办法。因为，

首先变频器与十几年前相比价格已便宜很多；其次，采用变频器对离心式水泵节能，从曲线上看与切削叶轮的方法相似，但它在水泵运行曲线上，对水泵的调节范围远大于切削叶轮能达到的范围。一般通过变频能使水泵工作点 $P_{运}$ 成功移动到 P，从而达到节能的目的（见图 3-27）。

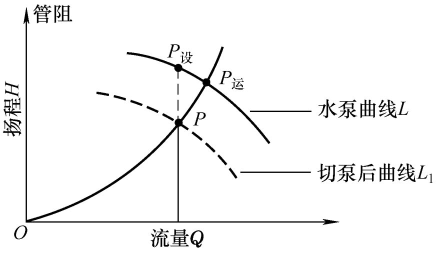


图 3-26　切削叶轮后曲线简图

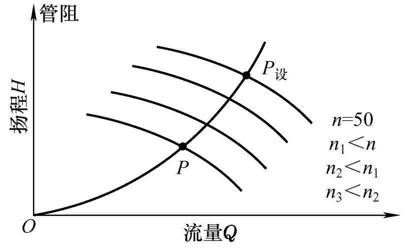


图 3-27　加装变频器后的曲线图

离心式水泵变频时其扬程与流量的二次方成正比，而管路系统的特性曲线变化也遵从阻力损失与流量的二次方成正比的规律。因此，针对水泵扬程选型偏大的问题，反而不必担心变频时水泵的水量不够。采用这种方法，需要考虑的是低转速情况下水泵电动机的散热、电动机效率及变频器效率的降低。如果变频器频率由 50Hz 降低到 25Hz，此时水泵扬程是原来的 25%，一般情况下这个幅度可以解决设计裕量的问题。此时，理论上能耗是原运行能耗的 12.5%，节电 80% 以上。而在这个运转频率下，高质量的电动机和变频器的效率下降的幅度不是很大，选择散热性能好的电动机在 25Hz 的频率下运行是完全没有问题的。

案例 42　新型能量回收式新风系统的选用

1. 概述

目前，在公共场所的空调利用率越来越高，人们长期处于密闭的环境中，由于缺乏必需的空气流通，室内空气质量很差，很容易引起不适和疾病的传播，因此必须采取措施进行空气交换，而现有的空气交换装置大多为强排式，一方面需要消耗大量的能量，另一方面会造成室内空气气流组织的剧烈变化，室内带有温度的空气被直接排出室外，而同时又要对新进入的空气进行加热或制冷，造成能量浪费，因此设计一种具有一定节能效果而又成本较低的新风系统是改变室内通风条件，节能减排的当务之急。

所谓新风即指新鲜的空气，新风系统就是通过物理原理在 24h 不开窗的条件下仍然能够引入室外新鲜空气，排除室内混浊有害的气体；新风系统由风机、进风口、出风口及各种管道和接头组成。其作用主要有换气功能、除臭功能、除尘功能、排湿功能、调节室温等。

2. 新型能量回收式新风系统的选用

新型能量回收式新风系统结构组成如图 3-28 ~ 图 3-30 所示。

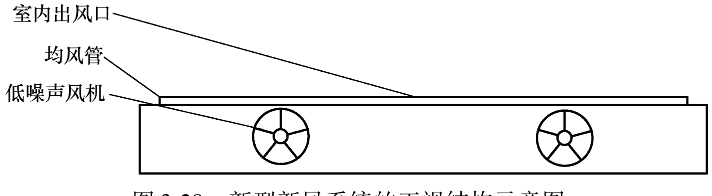


图 3-28　新型新风系统的正视结构示意图

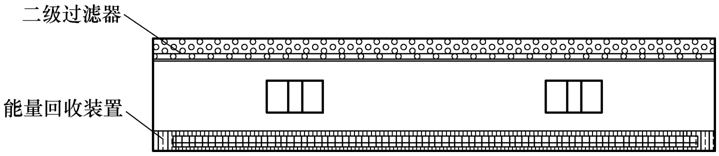


图 3-29　新型新风系统的俯视结构示意图

它包括长方体结构的箱体，可安装在窗户上方或下方，也可做成直立型安装在窗户的左方或右方，还可直接安装在门的上方。箱体面对室外的一面安装有过滤器（见图 3-29），过滤器可采用常规的滤网结构，并且至少采用两级过滤，一级为 PM10，一级为 PM2.5，具有一定的杀菌功能。箱体中安装有将室外空气送入室内的风机（见图 3-28），风机应采用低噪声风机，箱体面对室内的一面上安装有能量回收装置，能量回收装置可采用间壁式换热设备，它是一种板翅式结构的换热器，室外风经过能量回收装置后到达装有自垂式百叶风口的室内送风口，能量回收装置的上部与均风管相连通，均风管下设有室内风入口，能量回收装置的上部设有室内风出口，以便将经过能量交换的室内风排出（见图 3-30）。

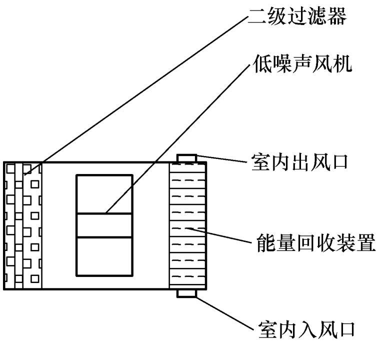


图 3-30　新型新风系统的侧视结构示意图

当外部灰尘比较大时，又需要通风时，可关闭门窗，起动风机，实现既能够封闭外部污染物又能满足通风换气的功能。当处于冬夏季采用家用空调进行采暖或制冷时，可起动风机以及能量回收装置，利用风机起到通风换气的作用，能量回收装置可回收冬天室内的部分热能或夏天室内的部分冷能，利用新风将回收的能量输送回室内。克服了家用空调新风量不足的缺点，又满足了节能的要求。

案例 43　污水源热泵节能系统的选用

1. 概述

污水源热泵技术作为一种新能源技术，通过热泵来回收城市生活污水中的热能作为建筑物供暖与空调系统的冷热源，实现了“变废为宝”。污水源热泵是以城市污水为冷（热）源的水源热泵，污水源热泵冷热水机组的原理如图 3-31 所示。

夏季制冷时，用户侧换热器为蒸发器，污水侧换热器为冷凝器。城市污水流入冷凝器，放出其可利用的冷量，吸收制冷剂蒸汽的热量，使制冷剂蒸汽冷凝；液态制冷剂进入膨胀阀，进行绝热膨胀，压力和温度都降低，低温低压的制冷剂蒸汽进入蒸发器，在蒸发器中膨胀吸热，变成高温制冷剂蒸汽，同时使用户侧室内的温度降低，达到制冷目的；高温制冷剂蒸汽被压缩机吸入又变成高

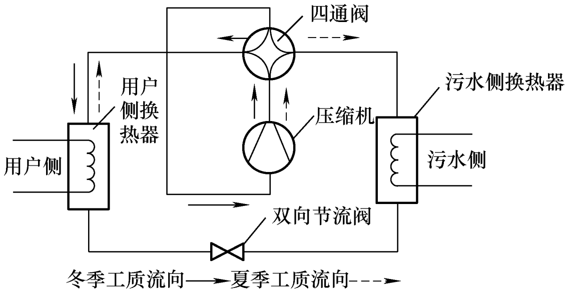


图 3-31　污水源热泵冷热水机组工作原理

温高压的蒸汽，再次进入冷凝器从城市污水中吸收其可利用的冷量，进行下一轮循环。在该系统中，制冷剂连续地经过冷却、膨胀、吸热、压缩的过程，就可以将城市污水中赋存的冷量转移到需要制冷的系统中去，达到制冷的目的。

冬季供热时，污水侧换热器为蒸发器，用户侧换热器为冷凝器。其工作流程正好与夏季热泵的工作流程相反。制冷剂连续地经过吸热、压缩、冷却、膨胀的过程，就可以将城市污水中储存的热量转移到需要供热的系统中去，达到供热的目的。

2. 直接式污水源热泵系统的选用

直接式污水源热泵系统即污水不通过中间换热装置，直接进入专用的污水源热泵机组进行换热的系统（见图3-32）。

图3-32　直接式污水源热泵系统

系统配置：一级污水泵+防阻机+二级污水泵+原生污水专用热泵机组。

原生污水由一级污水泵提升，经过智能污水防阻机过滤后，进入原生污水专用热泵机组；在机组提温（或降温）后，流经污水防阻机并携带污杂物回到污水干渠。

优点：设备配置少，系统配置简单；节省了换热器的投入，减小设备占地面积，并降低机房初次投资费用和运行费用；避免了二次换热时热量损失，提高了系统能效比；机组冷热工况的转换是通过冷媒切换完成，省去了管线切换的安装费用，并解决了使用端与污水系统污染的问题。

案例44　地铁车站环控系统的节电

1. 应用背景分析

某地铁的环控通风系统采用的是定常风量，而地铁环控系统的设计是根据天气最热、远期高峰运营条件来计算的，并且留有10%～20%的设计余量，以保证在实际情况发生各种变化时系统仍可达到要求的参数。在一些客流量远未达到设计额定值的地铁站，空调系统因为负载小而无法根据实际负载需求对风量进行调节，为了消除这些余量，只能靠阀门去调整，由此造成了浪费。

目前该工程绝大多数机电设备尚未采用变频调速控制，由于电动机为直接起动或Y/△起动，起动电流等于4～7倍的额定电流，这样会对机电设备和供电电网造成严重地冲击，起动时产生的大电流和振动时对挡板和阀门的损害极大，对设备、管路的使用寿命极为不利。而使用变频调速控制，利用变频器的软起动功能将使起动电流从零开始，最大值也不超过额定电流，减轻了对电网的冲击，延长了设备和阀门的使用寿命，节省了设备的维护费用，同时设计的富余量也通过降低电动机转速来消除。

节能要以满足车站舒适度为前提，因此对车站公共区的温度、空气质量进行了测量和分析，根据我国出台的公共交通等候室卫生标准（GB 9672—1996），候车室CO_2体积百分含量不能超过1.5×10^{-3}，从表3-3中所知，显然车站内的CO_2体积百分含量严重偏小，表明小新风机、空调机的送风量过大，偏大的风量导致多余地冷量与电量的消耗。

表3-3　车站CO_2数据统计

	A出口	B出口	C出口	D出口	站　厅	站　台
温度/℃	25.8	25.1	25.4	26.1	25.2	25.5
CO_2浓度$\times10^{-6}$	303	339	321	430	330	358

又对地铁车站的冷水系统进行了测量和分析（见表3-4），地铁运营结束后公共区空调系统停止运行，设备管理用房使用较小冷水流量就可满足需求。而地铁冷水系统的水泵是定常流量运行的，冷水系统的流量与压差是靠末端二通阀和差压旁通阀调节来完成的，因此不可避免地存在较大截留损失和大流量、高压力、低温差的现象，不仅浪费大量电能，而且还导致中央空调末端达不到合理要求情况的发生，同时冷冻水泵、冷却水泵供回水温差设计小于5℃，也加大了空调输配系统的运行能耗，降低了制冷主机的运行效率。

表3-4　空调水系统测试数据表　（单位:℃）

	冷冻水供水温度	冷冻水回水温度	温差	冷却水供水温度	冷却水回水温度	温差
测试温度	11.9	16.0	4.1	31.1	34.5	3.4

2. 节电策略

（1）全新风机控制

通过加装CO_2传感器，测量回风的CO_2的浓度，控制新风机的运行，将CO_2的体积百分含量控制在$(8\sim10)\times10^{-4}$之间，这样进入混风室的新风量（热风）将进一步减少，降低了空调系统的热负荷。

（2）大系统空调机送风机、回排风机控制

夏季人体的舒适区在26℃，相对湿度60%，由于地铁采用的空调系统不具备除湿功能，因此只能控制公共区的温度。

空调送风机采用的控制方式如下：根据回风温度测量值与公共区温度设定值偏差进行比例积分运算，调节送风机频率。回排风机变频控制可通过加装风压传感器，测量送风与回风的风压差值，计算空调区域正压下回风量设定值，调节回排风机的转速，保证空调区域的微正压，防止外部热源进入。

（3）空调机制冷器二通阀的控制

如果空调送风仅需满足公共区排热的要求，则冷源的温度低于公共区空气温度26℃即可，考虑到传热温差与介质的输送温差，送风温度只需要控制在15~18℃。因此，可根据送风温度测量值与设定值偏差进行比例积分运算，调节制冷器二通阀的开度。并设置当空调送风机频率达到上限，仍无法达到设定温度时，进一步自动降低送风温度设定值设定的

功能。

（4）冷冻水流量调节

空调冷冻水泵的变频控制方式有多种，如压力或压差控制、温度或温差控制或末端电动二通阀阀位信号控制等。其中，压差控制水泵是以系统供回总管之间的设计压差（一般选保证供回总管最不利条件点，如最远端回路）作为控制预设定值，冷冻水泵的变频调速采用恒压差控制，可避免各空调系统之间的耦合关系，单个空调系统的调节不会影响其他空调系统，由于压差反应速度较快，调节过程所需时间较短，系统易于稳定。

案例 45　高压钠灯的节电

1. 概述

在公路、厂房等照明中，高压钠灯是最常用的一种照明器具。它是由半透明的多晶氧化铝陶瓷电弧管、外泡壳、金属支架、消气剂和灯头组成，如图 3-33 所示。

高压钠灯的结构如下：

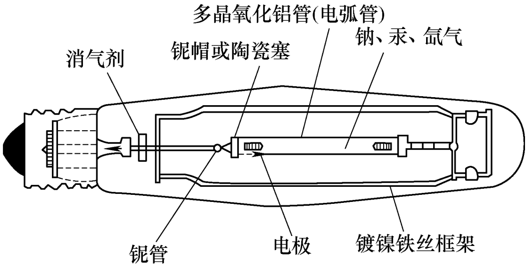


图 3-33　高压钠灯

1）电弧管：电弧管是高压钠灯的关键部件，电弧管工作时，高温高压的钠蒸汽腐蚀性极强，一般的抗钠玻璃和石英玻璃均不能胜任，需要用半透明的多晶氧化铝陶瓷管做电弧管管体较为理想，它不仅具有良好的耐高温和抗菌素钠蒸气腐蚀性能还有良好的可见光穿越能力。电弧管是把电极、多晶氧化铝陶瓷管、陶瓷帽、焊料环装配在一起加入钠汞并进入封接炉封接，同时充入少量的氙气，以改善灯泡的启动特性，电极是用高纯钨丝绕成螺旋状，在螺旋孔中插入芯杆，浸渍电子粉，然后将电极芯杆一端和铌管封闭端焊接成一体。

2）灯芯：灯芯是采用金属支架将电弧管、消气剂环等固定在芯柱上，电弧管两端电极分别与芯柱上两根内导丝相连接。

3）玻璃壳：钠灯玻璃壳是选用高温的硬料玻璃制造。玻璃壳与灯芯的喇叭口经高温火焰熔融封口，然后抽真空或充入惰性气体后再装上灯头整个灯泡基本成型。

4）灯头：灯头的作用是方便灯泡与灯座、电路相连接。

5）消气剂：玻璃壳内抽真空后，其真空度仅为 6.6×10^{-2}Pa 乃可以使金属配件氧化，影响灯泡稳定工作，所以在玻璃壳内充入适量消气剂可将灯泡内真空度提高到 1.4×10^{-4}Pa 高真空状态。

6）汞：汞常态时呈液态状，具有银白色镜面光泽。在电弧管中加入汞可以提高灯泡的工作电压，降低工作电流，减小镇流器体积，改善电网的功率因数，增高电弧温度，提高辐射功率。

7）钠：该元素呈银白色金属，也称金属钠，它的理化性能有质软而轻、可溶于汞。钠光谱特点为共振辐射线宽，偏向红色区，总辐射功率高。高压钠灯的光色和发光效率与钠蒸气压有关。

8）氙：氙气是一种稀有气体，他在灯泡的作用是帮助启动和降低启动电压，氙气压的高低还将影响灯泡的发光率。

2. 高压钠灯耗电情况

目前，全国城市道路照明主要使用的是高压钠灯（包括400W和250W），这些高压钠灯使用的大都是传统的电感式镇流器，这种电感式镇流器最大的问题是耗电量大、效率低，具体表现如下：

1）传统的高压钠灯电感式镇流器的自身功率损耗大（平均80W）；

2）灯功率随电源电压的变化而变化，用电低谷时电压偏高造成光源超功率运行；

3）由于长时间处于超功率运行状态，所以光衰大、寿命短。

由于以上原因，因此耗电量高，同时也存在着体积大、重量重、铜铁耗大、系统功率因数低、有噪声、不便维修的问题。

3. 高压钠灯的节电方法

高压钠灯电子镇流器组成结构如图3-34所示，主要包括：输入EMI电路、整流电路、有源功率因数校正电路、逆变电路、限流电路、触发启动电路以及控制保护电路。EMI电路减少镇流器与外界的相互干扰。输入交流220V经过EMI和整流电路后，经APFC电路的BOOST升压功率因数校正电路变换成稳定的直流400V电压，并使功率因数达到0.99以上，再经逆变、限流电路给灯供电。灯启动时，启动电路在灯两端产生2000V以上的高电压，使灯触发点亮，点亮后，镇流器使灯在额定电流下工作。在灯开路（无灯）的情况下，镇流器会停止工作，此时输入电流接近零，但镇流器还会间歇性发出脉冲判断灯是否存在，在检测到有灯时，镇流器会恢复正常工作。控制电路控制各部分正常工作，并对镇流器提供短路保护、无灯保护和声共振抑制等功能。高压钠灯电子镇流器接线示意（见图3-35）。

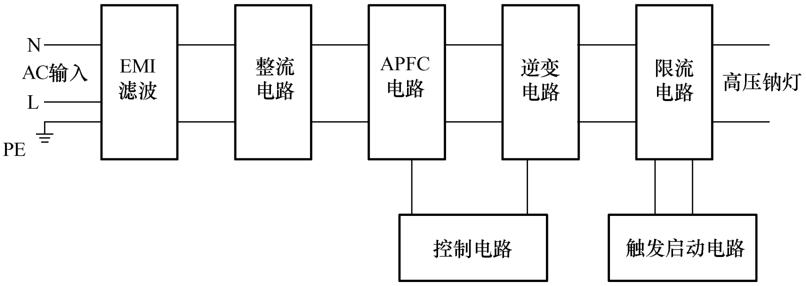


图3-34 高压钠灯电子镇流器工作原理

高压钠灯路灯电子镇流器的优点：

1）高效节能，相对于高压钠灯电感式镇流器综合节电率大于50%；

2）比高压钠灯电感镇流器功率损耗低（小于15W）；

3）根据不同时段照明需求而调控，半功率输出；还可节约能耗30%；

4）高压钠灯电子镇流器为恒功率点燃，避免了高压钠灯电感式镇流器功率随电源电压的变化而变化的缺点；

5）线路功率因数高（PF≥0.99），灯电流系数CF≤1.7，

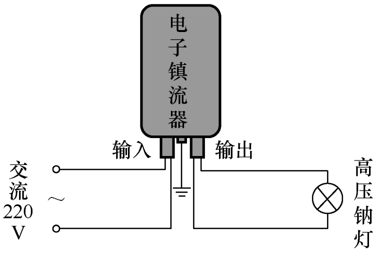


图3-35 高压钠灯电子镇流器接线示意

保持灯光不闪烁；

6）低电流谐波干扰，电流谐波失真总量 THD≤10%，大大降低了电磁干扰。

案例46　自动调压变压器在照明节电中的选用

1. 照明系统中的存在问题

在电力输送过程中，为了避免线路损耗，供电部门会以较高的电压输送，以确保用户端的供电电压达到额定值。一般电源变压器的输出电压会高于额定值的10%左右，这样用户端的工作电压会普遍高于额定值。

较高的工作电压不仅不能使负载设备更有效的工作，反而是导致设备发热及过早损坏的主要原因，较高的工作电压还必将产生出不必要的电费开支及缩短灯具或其他用电设备的使用寿命，而长期在过电压状态下工作，还会导致节能型灯具寿命远远低于设计值，造成节能灯具“节电不节钱”的现象。

照明系统目前的控制方式大部分是只需要照明时就打开全部灯具，电能消耗非常大。市场中的合格照明灯具根据国家标准在+5%～-10%电压波动状态下，都会达到照度要求。在用电低峰期灯具的照度会远高于实际需要，而此时往往是单位人流量最少的时候，照度白白地浪费掉。

灯具长时间工作在高电压工况条件下，寿命会大幅度缩短，灯具维护费用高。造成节能灯不节钱的现象。

目前，国家要求采用发光效率较高的冷光源如荧光灯、节能灯等已被广泛使用，其寿命与工作电压的关系如图3-36所示，在供电电压为额定的110%时，灯具的使用寿命降低一半，供电电压为额定的90%时，灯具的使用寿命提高一倍，发光效率提高6.5%，因此灯具的最佳工作电压应为额定值的90%。

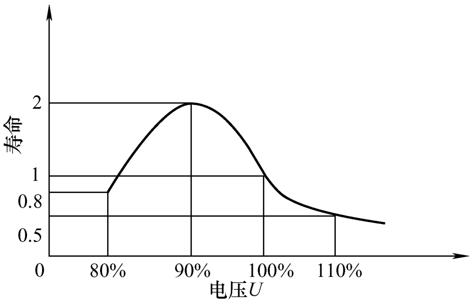


图3-36　灯具电压寿命关系图

2. 照明节电改造方案

智能照明调控技术是通过智能化自动调压的配电变压器和实时监测管理系统。充分考虑了用户照明的实际状况，依据人体工程学中的视觉理论，采用现代控制论中的最优控制方法，实现了对照明电压及照度的动态智能化管理，即TPO管理（TIME时间/PLACE地点/OCCASION场合）。

此项技术可以通过智能控制，减少后半夜因用电减少电压偏高而造成的大量电能浪费，并避免轻载过电压影响照明灯具和其他电器设备寿命。它的主要优点就是在调光的同时也大幅降低了电耗，节约有功电耗达15%～30%，同时大幅延长了照明灯具的寿命。

智能照明调控技术控制程序智能程度较高，可以根据照度调整率，从某一时刻开始，自动对照明输入电压进行动态调整，使照明输入电功率与实际照度要求达到最佳匹配，不仅节约了电能，而且稳定了电压，延长了路灯的使用寿命，达到了双重意义上的节能。

改造方案实施如下：

1）安装智能型自动调压变压器作为照明灯具的电源，并装设实时监控后台，后台可装

于用户处，由用户管理维护。如图 3-37 所示。

2）根据用户实际情况设置适宜的电压、照度、时段等整定参数，以使系统自动保持运行在最佳运行状态。

所以采用的智能调压变压器可以对照明供电系统电压进行优化处理，可以使照明系统的灯具始终工作在最优的工作状态。

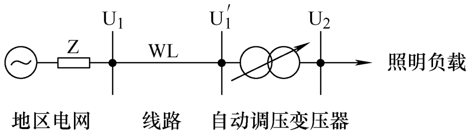


图 3-37　自动调压变压器

U_2—二次侧照明供电电压　U_1 一次侧进线电压（电网端）

U_1'——一次侧进线电压（自动调压变压器端）

案例 47　高速公路隧道照明的节电

1. 照明系统中的存在问题

国内目前对隧道照明设备的控制方式主要有三种：手动控制模式、分时段进行的时序控制模式和分级控制模式。在实际使用中最常用的方案是采用分级控制模式，即根据气候条件、隧道外的照度及交通流量进行控制分级。其工作原理是，通过隧道内外设置的照度检测仪，检测隧道入口处内外的光强度，并辅以车流量等其他信息，分级控制整个隧道内各段的灯光照明强度使驾驶员能尽快适应隧道内外的光强变化，消除因光强所引起的视觉障碍，减少事故的发生。现有照明控制模式在实际运行中存在着相当大的电能浪费。

为了保证车辆的通行安全，隧道照明系统的设计采用保守的预估方法。对洞外照度的设计是以全年洞外最大亮度和最高行车时速来确定隧道内各段的灯具功率和灯具分布密度。而在实际运行过程中，照明强度一般远远小于设计参数，因此照明系统的节能设计还有很大的改进空间。此外，在照明控制过程中因线路布线回路的限制，只能做到 2～3 级人工或自动控制对于如天气、车速、车流量等参数只是在设计阶段给以最大值考虑，最终各段的照明照度也始终处于最大值状态，无法对整个隧道的照明进行自适应控制。因此，这种传统设计与使用的隧道照明系统存在着大量电能浪费问题。

2. 隧道照明节能方法

隧道照明节能包含照明设计节能和管理节能等方面，其中照明设计节能是最重要的节能措施，它包括采用新颖的、可靠的设计理念和合理的标准值，以及采用高效光源、高效灯具、增大光反射系数和照明控制节能等。

（1）采用先进的隧道照明控制和管理系统

现在高速公路隧道照明系统控制，都采用时间控制器方法进行控制，即设定某时开白天灯，某时开夜晚灯。一年 365 天，白天与夜晚时间是变化的（即夏季日照长、冬季日照短），而时间设定控制为固定的，不能根据隧道内外实际照度对比值进行控制，造成隧道照明系统电能浪费。若要隧道管理人员经常到现场修改设定控制器开关时间，它将增加隧道管理人员工作量和维护费用。

在隧道实际运营过程中，隧道照明取值与车速、车流量、洞外光照有密切的关系。隧道照明控制参数研究的一个目标，是在确保安全的前提下，实现隧道照明的高效节能。隧道照明节能综合控制系统，以检测得到的洞外亮度、车速、车流量等交通参数为输入，以照明节能控制器为执行设备，开发照明节能控制系统。该系统能够根据交通参数和环境参数，自适应调节控制灯具亮度，在保证安全行驶条件的前提下，实现灯具照明的最优控制。

（2）确定合理的隧道照明设计标准值

在机动车交通量和设计行车速度一定的条件下，现行的隧道照明系统的设计基准-洞外亮度的取值大小将直接关系到入口段和过渡段亮度取值大小，也即与隧道照明节能、营运电费、工程投资和行车安全有关。因为洞外亮度随当地的气候、季节、时刻、隧道朝向、隧道入口的视野环境，如绿化、植被等有关。据研究表明，当其他条件不变时，洞外亮度值的改变对电费和设备费用影响很大。所以应通过调查分析、实测比较、理论分析和在光气候理论基础上，考虑洞外植被情况、当地光气候特点等合理地确定洞外亮度值。另外基本照度也应该根据现场环境和各种交通参数进行确定，从而达到节能的目的。

（3）使用新型的照明灯具和光源

目前，国内隧道灯具多采用白炽灯、荧光灯、高压钠灯、低压钠灯等，大多存在光带窄、配光质量不够、能耗高、质量稳定性差、寿命短等问题。普遍使用的高压钠灯发黄光，也导致隧道照明的视觉效果不佳，影响行车安全。因此，采用新型照明灯具和合理的控制系统对保证隧道经济安全运行有着十分重要的意义。无极灯、LED 灯等新产品引起了人们的日益关注。这些产品应用于隧道照明，除满足隧道对灯具光效、光通量、寿命及工作特性、光色、显色性和配光控制难易程度等主要要求外，还能节约运行和维护成本，实现稳定经济运行。

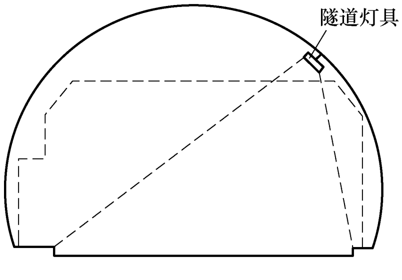
因此可从隧道照明光源：高压钠灯、金属卤化物灯、无极荧光灯（电磁感应灯）、节能灯、LED 灯中，利用反应时间实验等确定隧道照明光源。

（4）增大光反射比

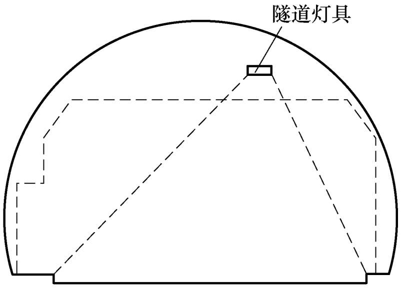
如果选择合适的灯具及其安装角度，并且增大顶棚和墙壁的反光比，由于隧道顶棚、墙和路面之间的多次反射，估计可使隧道照明反射光增量系数将比表面未作处理的隧道约增大 20%，即节电 20% 左右。

（5）优化灯具布设方式

路面亮度均匀度差会导致路面连续、反复地出现亮带和暗带，使驾驶员产生视觉疲劳，如果再出现个别位置的亮度差异过大则会造成视觉错误进而引发危险。选择灯具时，可以选择扩散角度大的灯具，同等灯具布设条件下，扩散角度大的灯具会使路面具有更强的均匀性，同时布置灯具时可适当提高灯具高度来提高照明灯具的照明效率。比如在照明基本段，当采用左右交错布置灯具时，将灯具位置向隧道中线靠近，同时尽量使灯具表面与路面平行，此做法可有效增加路面亮度均匀度并提高亮度利用率，从而加大布灯间距，减少灯具布设数量而节约能源，如图 3-38 所示。



a) 现有灯具布置方式



b) 优化后灯具布置方式

图 3-38　隧道照明灯具的布设方式

案例 48 路灯降压节电的应用

1. 概述

在目前的路灯供电系统中，由于供电电压不能调节，使得光源往往不能工作在较合适的状态，现在的光源的寿命已很长，如 GE 的钠灯寿命已达 28000h，国产的也达 18000h，但实际使用中往往达不到，主要原因是它的工作状态不理想，如果光源长期在高于设备额定电压状态下运行，导致设备过度发热，缩短寿命，实验证明白炽灯的电源电压升高 5%，寿命降低 47%，荧光灯电压升高 10%，寿命降低 15%，不仅大大降低了使用寿命且浪费了大量的能源。

以气体放电灯为例，它消耗的功率主要与输入电压有关，如图 3-39 所示的 400W 钠灯，当电压降低 10%时，电流降低 10%，而此时功率降低达 25%，光通量则降低 30%。

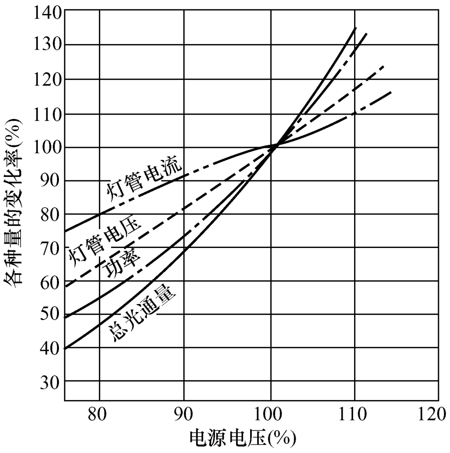


图 3-39 照明灯具的电压与各种量的变化率

由于在设计道路照度时已考虑到正常的照度需要，所以不应以降低照度来节约能源消耗。但考虑到在后半夜时车辆人流都大为减少，此时供电电压由于用电负载减少而升高，所以此时采用降低供电电压而适当降低光源的光通量是可行的，假设在后半夜供电电压升高 10%，此时再降低供电电压 10% 来运行，则光通量减少为额定值 70%，而消耗功率此时可减少 50%。表 3-5 所示是一组实测数据，采用西安无线电二厂及南京三乐的节能型电感镇流器，250W 钠灯。由表 3-5 中可知当电压从 242V 降到 198V 时输入功率降低了 140. 6W。比 220V 时额定功率值降低了 53%。

表 3-5 电压降低后的照明实测数据

	无线电二厂			南 京 三 乐		
电压/V	220	198	242	220	198	242
输入电流/A	2. 82	2. 5	3. 33	3. 16	2. 73	3. 43
输入功率/W	228. 2	179. 4	303. 2	265. 4	210. 2	350. 8
功率因数	0. 365	0. 382	0. 382	0. 381	0. 386	0. 424

因此通过调整供电电压，降低不必要的损耗，不仅可以达到节电的目的，同时还能保护终端设备，延长设备的平均使用寿命，是一种较好的节能方式。

2. 路灯照明降压节电方式

路灯电源端采用的节能的方式主要有两种，一是采用半夜灯，二是采用调压的方式。半夜灯是通过在下半夜关掉一部分路灯的方法来达到节能，它具有简单易行的特点，缺点是使得道路照明不均匀，且无法解决下半夜电压高而影响光源寿命的问题。而通过降低供电电压的方法不但可以节能，还可延长光源的寿命，是一种较好的节能方式。

常用的交流调压方式主要有接触调压器、感应调压器、移圈调压器、磁性调压器、补偿

式调压器、有载调压电力变压器、晶闸管调压器等几种不同方式。

目前国内应用的照明节能设备以照明控制调控装置为主，从工作原理上大致分为三大类。

（1）晶闸管斩波型照明节能装置

此类装置采用晶闸管斩波原理，通过控制晶闸管的导通角，将电网输入的正弦波电压斩掉一部分，从而降低了输出电压的平均值，达到控压节电的目的。这类节能调控设备对照明系统的电压调节速度快、精度高，可分时段实时调整，有稳压作用，因为主要是电子元件，相对来说体积小、设备轻、成本低。

但该调压方式存在一致命缺陷，由于斩波，使电压无法实现正弦波输出，还会出现大量谐波，形成对电网系统谐波污染，危害极大，不能用在有电容补偿电路中（现代照明设计要求规定，照明系统中功率因数必须达到0.9以上，而气体放电灯的功率因数在一般在0.5以下，所以都设计用电容补偿功率因数）。大功率晶闸管斩波型节电设备，因其自身存在谐波污染的缺陷，如果加装滤波设备，成本太高，是不经济的，所以此类设备是不宜用于照明电路中。

（2）自耦降压式调控装置

自耦变压器与普通变压器的区别在于，自耦变压器的一、二次绕组不仅有磁的联系，还有电的联系，所以在输出电压调节范围不大时它的容量比较小，所以消耗的材料小，造价低、效率高，这类产品最大的优点是克服了晶闸管斩波型产品产生谐波的缺陷，实现了电压的正弦波输出，结构和功能都很简单，当然可靠性也比较高。目前应用的有两种方式，即固定抽头方式和连续调节方式。

固定多档自耦降压器：由于其核心部件是一个多抽头的变压器，电压比是固定的，一般二次侧有三到五个降压抽头，分别降5V、10V、15V、20V，一旦接线端固定，降低电压就是固定值，当电网电压波动时，调控装置的输出电压也会上下波动，这样照明的工作电压处在不稳定波动状态，无法起到对电光源的保护作用，当电网电压高时，节电率不是最佳状态；而电网电压低时，可能出现欠电压现象，造成灯具无法正常点亮，反而降低灯具寿命，这是这类调控装置存在的最大安全缺陷。当用电高峰时，电压过低，电气设备也无法正常运行。

连续调节自耦型降压器：它可通过电刷在线圈的表面平滑移动或滚动，改变线圈的电压比而调节输出电压。优点是可实现无级平滑调节，调节精度高，但由于电刷调节回路是串在主回路中，因此承受的电流大，电刷接触不良，会产生火花，引起触点磨损。

（3）智能照明节电器

智能照明调控装置采用微电脑控制系统，实时采集输出、输入电压信号与最佳照明电压比较，通过计算进行自动调节，从而保证输出最佳的照明系统工作电压，这个已经在【案例45】中提及，不再赘述。

（4）补偿变压器

照明控制调控装置大多采用了补偿变压器调节电压的方式，其原理如图3-40所示。

补偿变压器的二次绕组串联在主电路中，相位和输入电压相反，补偿式调压变压器的一次绕组接入一个补偿电压，如图所示。若不计补偿变压器阻抗压降，则从图3-40可见：输出电压=输入电压-补偿电压，补偿电压可通过在输出电压或输入电压上取出，当补偿电压

等于输入电压时，输出电压 = 输入电压 – 补偿电压，当补偿电压等于零时，输出电压 = 输入电压。由于它的调节是在一次绕组，所以在主回路中是没有任何触点的。

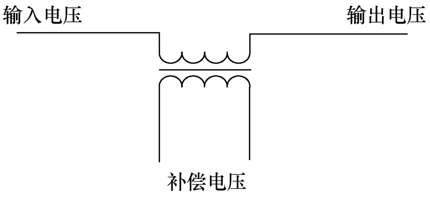


图 3-40　补偿变压器

补偿式调压器输出为正弦波无谐波干扰，它的变压器容量仅为需要调节的部分的容量，因此可用较小的容量控制较大的容量输出，输出效率高、调节方便、过载能力强，很适合在大中功率场合下应用。补偿式调压器主要分为矩阵型调节器、无触点补偿式调压器、补偿式大功率电力稳压器、有载调压电力变压器等四类。

案例 49　高校教学楼照明的节电

1. 概述

目前，各高校普通的教学楼照明系统存在严重的电能浪费现象和很多不便之处。比如，由于同学们节电意识淡薄，自习室在白天光照能够满足要求的情况下，经常是灯具全亮。而晚上有的教室只有很少人甚至没人往往也是灯火通明，教学楼楼道内的灯在上课时间楼道内几乎没人经过而依然常亮等现象，造成严重的电能浪费。

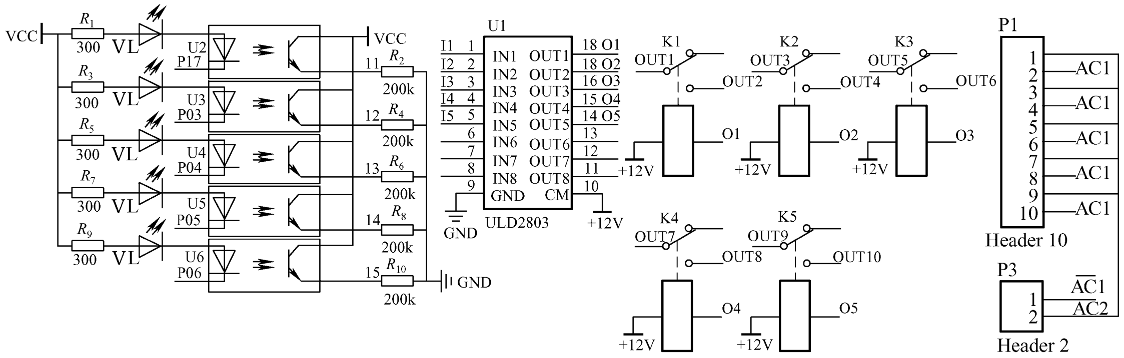
另外，教室和洗手间照明部分基本上完全是由人为控制，即当人进入房间的时候先要找到房间内灯的开关，这个过程给人们带来了诸多不便。而楼道照明部分基本上采用声控延时和触摸延时两种控制方式，其中声控延时的控制方式需要一定分贝的声音来触发灯的控制部分使灯点亮，而突然间的噪声经常会影响其他同学的正常学习。

2. 节电设计

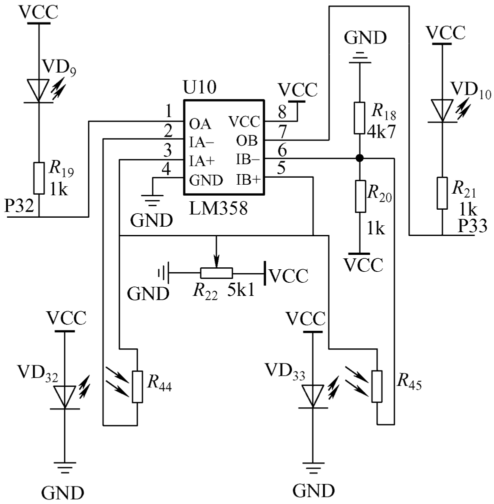
针对以上现象，提出了一种高校教学楼照明节电控制系统，将现行普通教学楼照明控制系统做出了以下改进：第一，在教室、洗手间等房间的门口安装激光传感器，用来检测进入房间和从房间出来的人数，比较判断房间内的人数，然后根据房间内的人数控制相应区域灯的开关，另外在教室内配合强制开关实现对每个灯开关的人为控制，使系统更加人性化；第二，在楼道内和路灯上安装红外检测装置，做到了当有人经过时，系统自动检测到人的靠近，然后亮灯并在一定延时后熄灭。这样避免了电能资源的浪费，同时也方便了同学们的学习和生活。

这里以教室照明为例进行说明。教室照明节电控制部分分别有两组激光式光电检测装置安装于教室或洗手间的门口，两组装置水平安装，距离可根据适当情况调整。这样当有人进出房间的时候，安装于房间门口的两组光电检测装置先后检测到信号，系统根据其先后顺序判断出进出房间的人数，并据此计算出房间内的人数，控制相应区域灯的开关。

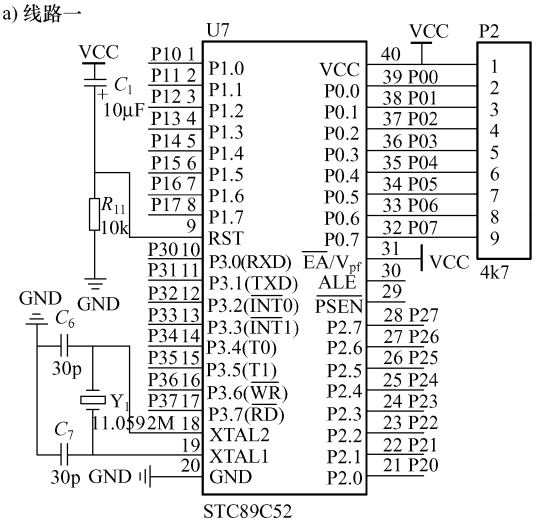
教室照明节电控制部分采用 STC89C52 单片机作为核心控制芯片，采用数码管作为显示模块，采用光耦加继电器电路作为弱电控制强电模块，采用电子变压器作为电源模块，如图 3-41电路图所示，教室入口装有两个激光传感器，当有人在房间门口走动时，图 3-40b 中的激光式光电传感器检测到信号，将此信号与既定电平比较后在图 3-40b 部分得到一低电平。这一电平被送往图 3-40c 中的单片机进行处理。单片机根据图 3-40d 中的信号判断出房间内的人数，并输出相应的信号。这些信号分别送至图 3-40d 数码管及其驱动部分和图 3-40c 继电器驱动部分。这样，图 3-40d 中的数码管实时显示房间内的人数，图 3-40c 中的继电器分别控制相应区域灯的开关状态。并装有强制开关，分别用来实现对教室内各个区域灯的人



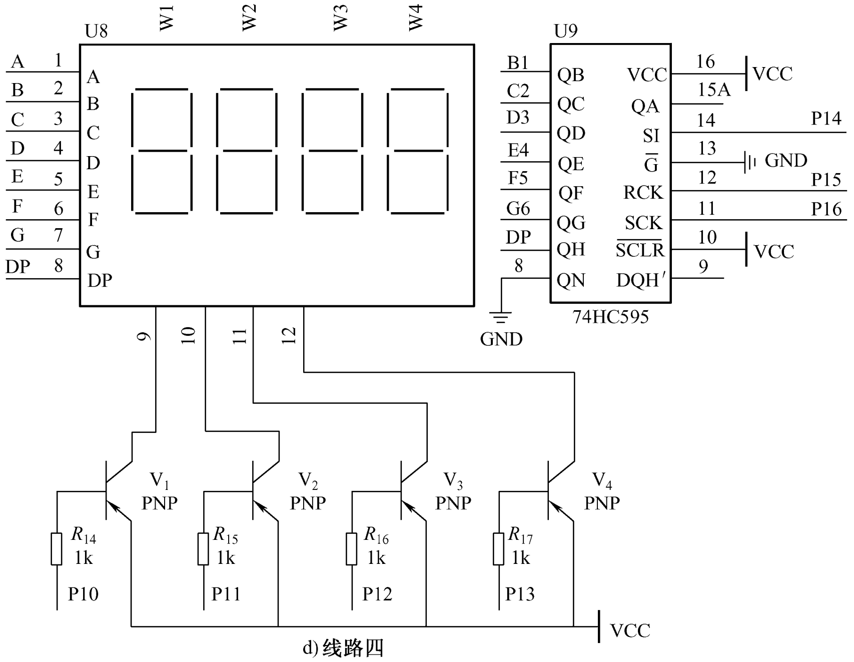
a) 线路一



b) 线路二



c) 线路三



d) 线路四

图 3-41　教室照明节电控制部分电路图

为控制。

案例50　大型商场照明节电的设计

1. 概述

大型商场据测算，其照明耗电占本单位所有耗电的40%左右。因此，有必要在保证照明质量的前提下，实施照明节能措施，这不仅可以节约能源，而且也会产生明显的经济效益。

2. 大型商场照明节电的设计

近年来，照明产品有了显著的改进，朝着高光效、高显色性、长寿命、低价格发展。选用这些产品，可以大大提高照明电路的节能效果。为了提高大型商场照明电路的节能效果，可以从输电线路、开关、照明灯具、镇流器等环节考虑。

（1）选用配电线损耗小的导线

选用线损比较小的传输导线，合理优化配电方式，可以把单相的改为三相或三相四线制，线损可以比原来下降75%～80%。

（2）选用节能光源

正确、合理选用光源，是实施节能照明工程的重要因素。选用光源要考虑以下两个方面：根据场所使用情况的特点、建筑面积，选用合适的光源类型；根据使用要求选择光源的显色性和色表。

荧光灯的光效、显色性、寿命等不断改进，品种不断发展，这一系列的改进，使荧光灯的光视效能从早期的28lm/W提高到104lm/W，寿命从1000h提高到24000h，显色指数Ra提高到85以上，专用于需要高显色性场所的荧光灯，Ra已达到95～98，光视效能为65lm/W，作为特殊用途的荧光灯，Ra最高可达到99，光视效能为59lm/W。金属卤化灯更以其光视效能高、寿命长为见长，日益受到人们所重视。我们在商场照明设计中，当空间高度较低时，以荧光灯作为主光源，再配以小功率金卤灯作为副光源。当空间高度较高时，则采用250W以上的金卤灯作为主光源。

（3）选用高效的照明附件

大型商场中的照明附件可以采用电子镇流器取代电感镇流器。电子镇流器有许多优点：功率因数高；发光效率高；启动快速可靠；噪声小、无频闪；体积小、重量轻。随着科学技术的飞速发展，一种新颖的荧光灯复合式镇流器也应运而生。该镇流器集辉光启动器与镇流器于一身，既克服了电感式镇流器不能低电压起辉等一系列缺点，又克服了电子镇流器带来的多次谐波干扰和使荧光灯管两端早期发黑的不足，具有高功率因数、节电、一次性启动灯亮、工作电压波动范围大、价格低、延长灯管使用寿命、无噪声、无干扰波对电器产品影响等优点，越来越受到商场节能照明的喜爱。

案例51　T8高频荧光灯的选用

1. 概述

我国的照明设计标准和照明产品标准体系也是在不断的建立和完善。新的建筑照明设计标准（GB 50034—2004）中对功率密度LPD（每平方米耗电量）有了强制的约束指标（见表3-6、表3-7）。

为了实现照明产品的节能，在最新的荧光灯类产品国标中有这样一类产品被重点引入，这就是 T8 高频荧光灯。

表 3-6　办公建筑照明功率密度值

房间或场所	照明功率密度/(W/m²)		对应照度值/lx
	现行值	目标值	
普通办公室	11	9	300
高档办公室、设计室	18	15	500
会议室	11	9	300
营业厅	13	11	300
文件整理、复印、发行室	11	9	300
档案室	8	7	200

表 3-7　学校建筑照明功率密度值

房间或场所	照明功率密度/(W/m²)		对应照度值/lx
	现行值	目标值	
教室、阅览室	11	9	300
实验室	11	9	300
美术教室	18	15	500
多媒体教室	11	9	300

2. T8 高频预热阴极荧光灯

国标 GB/T 10682—2002《双端荧光灯性能要求》中给出了各类直管荧光光源的具体性能要求。由表 3-8 所示，按照工作类型的不同，双端直管荧光灯主要分为，交流电源频率带启动器预热阴极荧光灯和高频预热阴极荧光灯两类。其中交流电源频率带启动器预热阴极荧光灯主要包含 T8 卤粉荧光灯和 T8 三基色光源，这类光源在工作频率 50Hz 条件下（电感镇流器）即可实现正常工作。

表 3-8　灯外形尺寸灯头型号

工作类型	标称功率/W	A	B		C	D_{max}					灯头型号
		max	min	max	max	ϕ16	ϕ26	ϕ29	ϕ32	ϕ38	
交流电源频率带启动器预热阴极荧光灯	19	589.8	594.5	596.9	604.0			31.0			G13
	20	589.8	594.5	596.9	604.0			31.0	34.1	40.5	G13
	30	894.6	899.3	901.7	908.8		28.0	31.0	34.1	40.5	G13
	33	1149.0	1153.7	1136.1	1163.2		28.0				G13
	36	1199.4	1204.1	1206.5	1213.6		28.0				G13
	38	1199.4	1204.1	1206.5	1213.6			31.0			G13
	40	1199.4	1204.1	1206.5	1213.6			31.0	34.1	40.5	G13
	58	1500.0	1504.7	1507.1	1514.2		28.0				G13
	65	1500.0	1504.7	1507.1	1514.2				34.1	40.5	G13
	80	1500.0	1504.7	1507.1	1514.2					40.5	G13
	85	1763.8	1768.5	1770.9	1778.0					40.5	G13
	100	2374.3	2379.0	2381.4	2388.5					40.5	G13
	125	2374.5	2379.0	2381.4	2388.5					40.5	G13

（续）

工作类型	标称功率/W	A	B		C	D_{max}					灯头型号
		max	min	max	max	ϕ16	ϕ26	ϕ29	ϕ32	ϕ38	
高频预热阴极荧光灯	14	459.0	553.7	556.1	563.2	17.0					G5
	16	589.8	594.5	596.9	604.0		28.0				G13
	21	849.0	853.7	856.1	863.2	17.0					G5
	24	549.0	553.7	556.1	563.2	17.0					G5
	28	1149.0	1153.7	1156.1	1163.2	17.0					G5
	32	1199.4	1204.1	1206.5	1213.6		28.0				G13
	35	1449.0	1453.7	1456.1	1463.2	17.0					G5
	39	849.0	853.7	856.1	863.2	17.0					G5
	54	1149.0	1153.7	1156.1	1163.2	17.0					G5

T8 高频荧光灯与传统 T8 荧光灯相比，其改进之处和优点在于：

1）T8 高频荧光灯在原有三基色荧光粉基础上，增加使用了具有高辉度特性的单色荧光粉，在保持高显色性的前提下，有效提高了光通量；

2）采用双螺旋灯丝技术，大大提高电子附着量，从而保证了光源寿命；

3）改变光源内封入气体的成分及压强，使光源的启动性得到改善，延长了光源寿命；

4）光源中汞的含量控制在 5mg 以下，同时通过使用无铅焊锡等技术尽可能地减少对环境的污染，满足欧盟 RoHS 指标要求。

基于光源的上述改变，并配合智能型高频预热型电子镇流器的使用，整个系统的性能指数得到了大幅提升（在光视效能参数方面的对比表见表 3-9）。

由表 3-9 可知，高频荧光灯光源与交流频率荧光灯光源的比较，光电性能上最大的提高体现为，光视效能由 T8 卤粉荧光灯 70lm/W 左右发展到 T8 高频荧光灯的 100lm/W 以上。因此，在工程领域中使用。

表 3-9　光视效能参数方面的对比

		管径/mm	功率/W	光效/(lm/W)	显色性 Ra
交流电源频率带启动器预热阴极荧光灯	T8 卤粉荧光灯	ϕ26	18、30、36、58	60～82	>75
	T8 三基色荧光灯	ϕ26	18、30、36、58	70～95	>80
高频预热阴极荧光灯	T8 高频三基色荧光灯（PS 系列）	ϕ26	16、32	80～104	>80
	T8 高频三基色荧光灯（PH 系列）	ϕ26	23、45	82～110	>80

如果使用 T8 高频荧光灯系统就能极大的降低照明功率密度，实现很好的节能效果。

案例 52　地铁列车客室照明的节电

1. 应用背景分析

某地铁线现阶段运行车辆型号为某 AC03 型电动客车，6 节编组，其客室照明控制分自

动控制和手动控制两种模式。

（1）自动控制模式

1）控制方法

将控制旋钮置于“自动”位置，则列车客室照明灯根据光电管（位于司机室前侧外部）检测客室外部自然光线的强弱，来控制全车共96盏客室主照明灯，另外有60盏紧急照明灯不受其控制，始终处于全部开启状态。

2）采用自动控制模式时存在的问题

问题1：现阶段列车客室照明采用荧光灯，在自动模式下进出地面或高架车站，以及进出长度较短的隧道时，客室照明灯会在短时间内频繁开启或关闭，造成灯管损耗加剧，寿命严重缩短。有关研究表明，使用荧光灯要注意避免频繁启动，荧光灯寿命一般为6000～10000h，其条件是每启动1次连续点燃3h；若启动1次，只让灯点燃1h，灯管的寿命会缩短到70%以下。所以，使用荧光灯时要尽量避免频繁启动。

问题2：目前，列车前后两个司机室前侧外部各装有一个光电管，但在现有自动模式下只有列车前进方向车头的光电管起作用。这就会导致，当列车由隧道驶上地面轨道或高架桥段时，列车车头首先驶出隧道，位于车头的光电管检测到的光线强度增强，96盏主照明灯会迅速全部关闭，仅剩下60盏紧急照明灯提供照明。此时，列车除车头之外的其他车厢处于隧道内黑暗环境中，这部分车厢就会出现短时间的光照不足，而且有时候还会出现因局部光照不均匀（如车头处的光电管位置恰好被物体遮挡）所导致的控制误判等情况。

（2）手动控制模式

1）控制方法

将控制旋钮置于“手动”位置，则客室照明灯全部开启（96盏主照明灯和60盏紧急照明灯）。此后，列车司机以自己对列车外光照强弱的感受为依据，手动控制客室主照明灯，紧急照明灯不受其控制，始终处于全部开启状态。

2）采用手动控制模式时存在的问题

问题1：据实测得知，该电动客车的司机驾驶室和客室内部空间体积分别约为6m^{3}和150m^3，两者的玻璃车窗采光面积分别约为3m^{2}和30m^2。据此计算，采光面积与空间体积比分别为50%和20%，所以在同样的外部光照情况下，乘客在客室内和司机在驾驶室的感受相差甚远．如果考虑到客室内乘客身体对光线的遮挡作用，则这一差距将进一步增大。因此，在某些情况下，司机对客室照明灯的控制，不能满足乘客对舒适度的要求。

问题2：考虑到该地铁线的具体线路特点，在手动模式下，为了节约电能，目前采用的操作方式是司机在列车由自然光线充足的地面轨道或高架桥段驶入隧道时，开启全部客室照明灯。然后，在3min后列车驶出隧道时，关闭96盏主照明灯。这样，在1天内，这些荧光灯将要被开启20次左右，灯管寿命势必会严重下降，最终导致维修成本增加。

2. 地铁线列车客室照明系统存在问题的原因

现阶段该地铁线电动客车客室照明系统存在问题的主要原因如下：

原因1：以光电管为核心控制设备的自动控制系统存在严重的缺陷。

原因2：采用荧光灯管作为客室照明灯具不利于节电控制方案的实施。

目前，无论是手动控制还是自动控制模式，要实现客室照明节电都需要通过控制照明电路继电器的频繁闭合和断开来开启或关闭部分荧光灯，造成灯管寿命严重减短，维修成本增

加，虽然节约了电费，却增加了维修费用。因此，采用荧光灯作为客室照明灯是现存问题的症结所在。

3. 地铁列车客室照明系统节能改进方案

对该地铁列车客室照明系统进行节能改造设计方案，主要从以下 3 个方面入手：

1）用功率为 18W 的发光二极管荧光灯管代替所有 36W 的荧光灯作为客室照明灯（见图 3-42）。

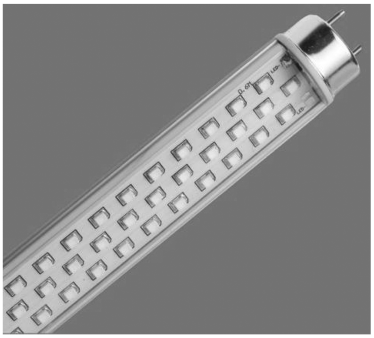


图 3-42　LED 荧光灯外观

理由 1：LED 荧光灯发光效率远高于荧光灯。据测算：1 盏功率为 36W 的荧光灯产生的有效流明数为 1814.4lm，而 1 盏功率为 18W 的 LED 荧光灯就可以达到 1800lm。也就是说采用 1 盏 18W 的 LED 荧光灯就可以取代 1 盏 36W 的荧光灯。

理由 2：LED 荧光灯可实现无级调光，而且技术成熟，调光不会影响灯具寿命。LED 荧光灯的核心发光器件为发光二极管，发光二极管的发光亮度随着外部电压的变化基本呈线性变化。因此，可以通过改变电压来实现对其亮度的无级调节，且技术成熟。

理由 3：使用 LED 荧光灯节能效益高。

尽管 LED 荧光灯的价格大约是普通荧光灯的 10 倍，如果考虑到它的寿命长、节电和无污染等优点，仍然是合算的。因为如果和普通荧光灯相比，寿命为 50 000h 的 LED 荧光灯就值得花 10 倍的价格去买，因为在其间所节省的电能就已经完全变成了纯收益。

2）采用无级调光技术对 LED 荧光灯进行智能化亮度调节，以替代现有光电管与继电器组合式调光技术。

采用无级调光技术对 LED 荧光灯亮度进行智能化调节是一项已经很成熟的技术。调节过程如图 3-43 所示。

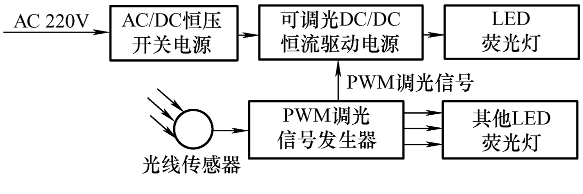


图 3-43　LED 荧光灯无级调光流程图

在具体控制过程中，通过对现有电路的改造，使得车头两端的两个光线传感器同时工作．选择两个光线传感器所得光照数据的较小值，与预设标准照明值进行对比后调节 LED 荧光灯的亮度。这种调节方法最大的特点在于可以有效地解决原来列车进出隧道时的开关灯问题。

由图 3-44 所示，设光线传感器 1 测得的光照值为 L_1，光线传感器 2 测得的光照值为 L_2，则当列车头部驶入隧道时，$L_{2\text{入}} > L_{1\text{入}}$，此时将 $L_{1\text{入}}$ 与 L 进行对比，相应地增加客室内 LED 荧光灯的亮度；当列车头部驶出隧道时，$L_{1\text{出}} > L_{2\text{出}}$，此时将 $L_{2\text{出}}$ 与 L 进行对比，因为 $L_{2\text{出}}$ 与 $L_{1\text{入}}$ 的数值相差不大，故客室内 LED 荧光灯的亮度与列车头部驶出隧道前的亮度基本相同，不会使乘客产生不适；只有当整列车全部驶出隧道后，系统才会根据隧道外的自然光强度状况重新调节整列车客室 LED 荧光灯的亮度。

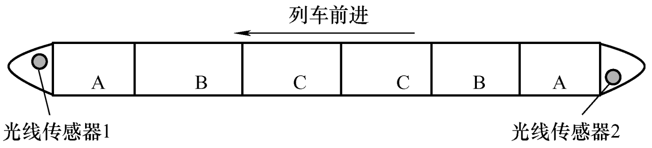


图 3-44　列车光线传感器位置示意图

3）对现有列车客室照明系统中主照明电路部分和紧急照明电路部分同时安装无级调光控制器，以实现整个客室照明系统的同步节能。该列车进行如上改装之后，在列车运行线路正常的情况下，列车客室的全部 156 盏照明灯都可进行节电控制，避免了原来电路设计中 60 盏紧急照明灯始终处于开启状态造成的电能浪费。而在紧急情况下，紧急照明灯将通过旁路开关自动切换至独立工作状态，以满足紧急照明需求。

案例 53　路灯节电器的选用

1. 概述

路灯节电器是一种以微电脑控制技术为基础的灯光节电器。它的主回路由两个开关回路并联组合，一个是以微电脑控制回路作为主回路，另一个是交流接触器作为旁路开关回路，与主回路并联。当主回路了故障时，主回路自动退出，旁路开关自动投入运行，以确保灯光正常运行，其主回路工作模式为（见图 3-45）：

1）首先通过高精度时钟仪或者光敏元件，实现对每天开、关灯时间的控制。

2）当预热时间段完成后，通过微电脑控制变流器调压，平滑地进入斜坡下降时间段，然后自动进入一级节电状态，并保持平稳节电运行。

3）当使用于道路照明控制时，因下半夜车少人稀的特点，除设置一级节电水平外，下半夜宜启用夜灯功能即二级节电水平，可得到更佳的节电效果。

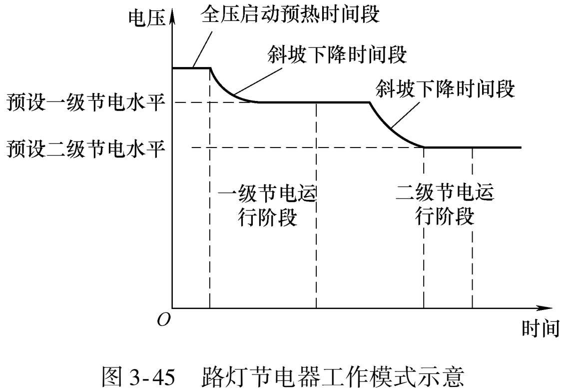


图 3-45　路灯节电器工作模式示意

2. 路灯节电器的选用

图 3-46 所示为路灯节电器与路灯的接线。白天光照较强，光敏元件电流增大，使集成电路的继电器释放，路灯不亮。到傍晚天黑到一定程度时，由于光照减弱，光敏元件产生的电压低，继电器吸合路灯亮；直到次日晨，光照加强集成触发器自动再次动作，路灯灭（也可以采用高精度时钟仪）。在路灯亮期间，采用图 3-45 的工作模式进行路灯节电控制。

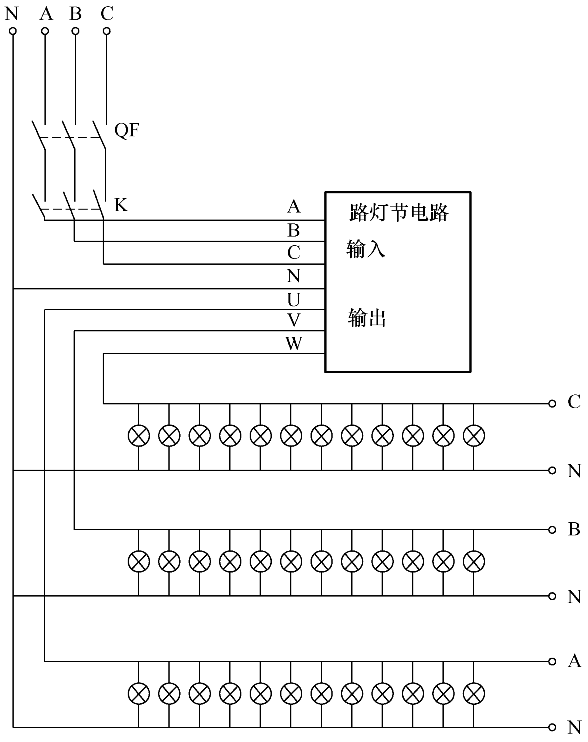


图 3-46 路灯节电器与路灯的接线

案例 54 智能综合节电器在小区配电中的选用

1. 概述

某小区配电变压器为 10kV/400V、容量为 1000kVA。负载随季节变化波动，日负载变化很大（见图 3-47），供电电压波动较大（白天电压 380V 左右，晚上最高达 430V）；功率因数约在 0.80 左右，有一定的提升空间；三相不平衡较为严重，有较大的零序电流；有一定的 3 次、5 次谐波。

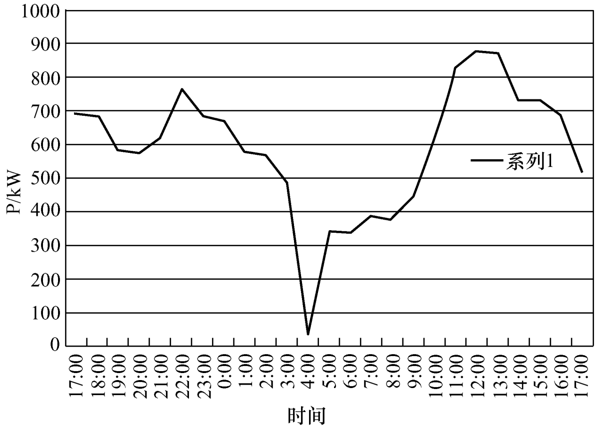


图 3-47 小区代表性日负载曲线

目前民用附属线路的主要用电设备为家用电器设备，其中包括以下类型的设备：①照明设备：如各种照明灯具等；②小功率电动设备：如空调、冰箱、食品加工设备等；③其他家电设备：电视机、电脑灯；④其他一些辅助电动设备：家庭用电设备部分为混合负载，包括小功率电动机，照明设备等，而小功率电动机运行效率较为偏低，且较多为变动负载，启动频繁，冲击负载较大，电动机运行负载变动较大。

根据民用负载的特点可以分析出造成额外消耗的因素如下：

（1）供电电压

由于配电系统内部负载变动较大，造成电压波动也较大。过高的供电电压不仅不能使设备或电力能源经济有效的运行，反而增加电费开支，并且造成设备的寿命缩短，增加设备维护工作量和维护成本。从日平均负载曲线上可以看出，由于晚上负载较少，造成晚上供电电压偏高，从 $P=U^2/R$ 得知，用电设备（如冰箱）消耗的功率与其电压的二次方数成正比，电压加大，大量的电能被浪费；还会使照明灯具在过电压的情况下运行，偏高的工作电压，将使灯泡和镇流器的耗电明显升高，灯具和整流器的寿命明显缩短（一般情况下，超过额定电压1%，光源使用寿命减少6%），造成灯具故障率的增加；同时故障率增加不可避免造成检修任务的加大，致使人力、物力资源的进一步浪费。

（2）供电的三相不平衡

正常情况下，用电设备应工作在三相负载电流平衡、三相电压对称的条件下，这样整个用电系统最为经济。但是事实上，绝大部分用电系统都存在着三相不平衡问题。由于三相电源不平衡造成零序电流过大、零点位移和三相电压不对称，这会引起线路电能损耗增大，比基本损耗大几倍甚至十几倍，是一个不容忽视的环节而应予以克服。

（3）谐波和功率因数

谐波使电能的生产、传输和使用的效率大大降低；线路功率因数低，造成线损增大。

因此，根据以上供、用电系统状况和小区负载性质分析该小区具有较大的节电降耗空间：可以通过优化供电电压，提高功率因数减少线损等手段进行节电改造，以其达到节能降耗的目的。

2. 智能综合节电器的选用

智能综合节电器利用微电脑（MPU）控制技术、采用最新电磁平衡技术原理来调节用电设备上电压的平衡度和稳定性，动态检测线路上的用电设备的用电负载量，通过铁磁型系统调节电压，自动调节电压参数，优化供电电压，使设备工作在最佳工作电压范围、最佳用电效率，减少电能浪费来节约电能。

（1）功效

由于供电网络电压不稳定以及由于冲击负载造成的网络电压变动，造成用电设备功耗损失增加，因此可通过安装智能综合节电装置，将系统网络供电电压优化至用电设备适应范围，减少因网络内电压原因在终端用电设备上所造成的不必要的热损耗及磁损耗、降低用电设备的功率损失。

通过智能综合节电装置的内循环扼流作用，把因电动机频繁起动及供电线路频闪造成的对网络的过电流冲击与能量消耗减至最小，从而减少一部分电量损失。

安装智能综合节电装置后，能在一定程度或一定范围内抑制和削减一部分电压、电流谐波畸变分量，使其不会在供电网络回路中产生多次叠加与恶性循环，并相应节省部分电能。

安装智能综合节电设备后，能够有效地抑制电路谐波、抑制零序电流，减小三相不平衡度，降低损耗。提高用电质量。

通过智能节电装置的节能及电网净化作用，可使供电品质提高、用电设备运行更加安全、合理、经济，达到最佳运行效能。

（2）应急模式的应用（可靠性保证）

由于在设备接入主线路的部分没有可控的开关，同时通过对控制绕组的特殊设计，因此设备可以在任何情况下保证不断电的正常供电，同时具有报警装置，在检测到设备出现故障后可以给出报警信号，方便处理，在设备出现故障时，控制机构可以将控制绕组推出运行，不影响正常供电使用，如需检修，可以在没有用电负载时将主线路中的负载隔离开关达到直通状态即可进行带电维护和检修（见图 3-48）。

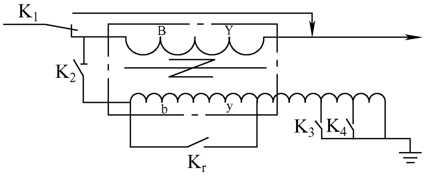


图 3-48　主绕组和控制绕组示意图

（3）智能综合节电器的布控（见图 3-49）

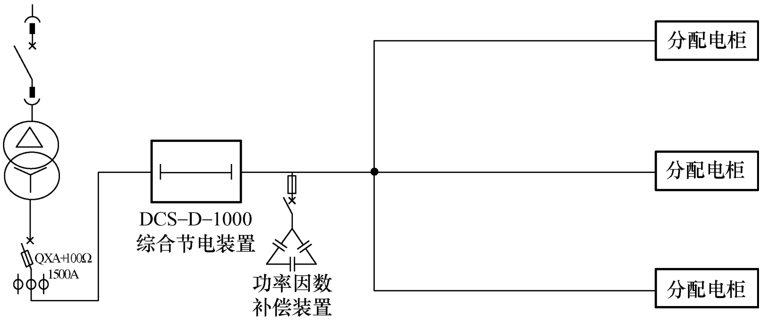


图 3-49　智能综合节电器的安装布置图

3. 使用智能综合节电器后的节能分析

由于该小区主要负载为照明设备和小型家用电器，在工作时负载变动较大。不能通过等效时间节点用电量这种测试方法来计算节电率。测试该节电率较好的方法就是通过短时切换（这时可以认为下端为同一固定负载），测试节电状态和市电状态下两者电流变化量。通过电流变化量可估算出实际节电率。为此利用 FLUKE 电能质量测试仪做了 3 组测试，测的实际数据见表 3-10。

表 3-10　节能测试数据

		时时 A 相电压	时时 A 相电流	功 率 因 数	节　电　率
1	投入前	232	296A	0. 75	9. 5%
	投入后	221	268A	0. 85	
2	投入前	233	372A	0. 77	8. 6%
	投入后	221	340A	0. 87	
3	投入前	231	364A	0. 78	8. 8%
	投入后	220	332A	0. 84	

从上面表格中可以估算出平均节电率为8.97%。

案例55　配电变压器的节能措施

1. 应用背景分析

变压器是电网中运用最普遍的设备之一，它贯穿于电力系统的发、输、变、配、用各个环节。一般说来，从发电到用电需要经过3~5次的电压变换过程，其中变压器必然产生有功和无功损耗，所以其电能总损耗约占发电量的10%。尤其在配电网中，增加配变布点的要求使得配电变压器的数量和总容量非常庞大，在整个电力系统变压器中占了相当比例。因此，提高配变的运行效率、降低配网损耗具有极为重大的意义。

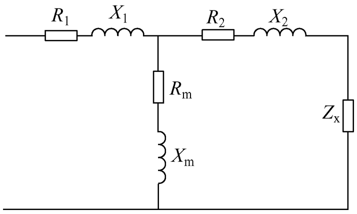


图3-50　变压器等效电路示意

变压器损耗包括铁耗和铜耗。铁耗与铁心的材质有关，与负载大小无关，其值基本上是固定的；铜耗与变压器的负载密切相关，近似与负载电流的二次方成正比。变压器的等效电路如图3-50所示。

因此，变压器的有功损耗可表示为

$$\Delta P = P_0 + \beta^2 P_k \tag{3-4}$$

式中　ΔP——变压器有功损耗；

P_0——空载损耗；

β——变压器负载率；

P_k——负载损耗。

变压器效率可表示为

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \times 100\% = \frac{\beta S_N \cos\varphi}{\beta S_N \cos\varphi + P_0 + \beta^2 P_k} \times 100\% \tag{3-5}$$

随着变压器负载率的变化，当$\beta = (P_0/P_k)^{0.5}$时，即当可变损耗（铜耗）等于不变损耗（铁耗）时，变压器效率最大值为

$$\eta_{max} = \frac{S_N \cos\varphi}{S_N \cos\varphi + 2\sqrt{P_0 P_k}} \times 100\% \tag{3-6}$$

2. 变压器节能降耗措施

根据变压器损耗产生的根源，以下从5个方面探讨降低变压器铜耗和铁耗的措施。

（1）合理选择变压器型号

变压器的铁耗发生在变压器铁心碟片内，主要由交变的磁力线通过铁心产生磁滞及涡流带来损耗。最早用于变压器铁心的材料是易于磁化和退磁的软熟铁，20世纪初，经研究发现，在铁中加入少量的硅或铝可大大降低磁路损耗，增大磁导率，且使电阻率增大，涡流损耗降低。经多次改进，用0.35mm厚的硅钢片代替了铁片制作变压器铁心。近年来，变压器的铁心材料已发展到最新的节能材料——非晶态磁性材料，非晶合金铁心变压器应运而生。这种变压器的铁损大幅度降低，仅为硅钢变压器的1/5。

我国S7系列变压器是20世纪80年代后推出的，其空载损耗和负载损耗均较高。目前

推广应用的是S11系列低损耗变压器，其卷铁心改变了传统的叠片式铁心结构，为硅钢片连续卷制，铁心无接缝，大大减少了磁阻，使空载电流减少了60%～80%，提高了功率因数，降低了电网线损，改善了电网的供电品质。

（2）合理配置变压器

一般电力变压器的空载损耗和负载损耗之比在1/4～1/3之间，因此当变压器负载率在50%～70%时，变压器的运行效率最高。故应根据配变所供负载的特点，计算负载变化的范围，在同时考虑技术和经济两因素的前提下，合理地配置变压器的容量及台数，这样既可减少基本电费，提高运行效率，又能降低变压器损耗。

随着变压器制造技术的不断提高，其空载损耗和负载损耗都有大幅下降。但是，在变压器的发展过程中，空载损耗的下降速度远远超过负载损耗的下降速度，这是在磁性材料的制造技术方面进展较快的结果。随之而来的一个变化是，变压器的经济运行容量明显下降，以非晶合金变压器为例，其经济运行容量下降到了20%～30%，且随着变压器容量的增大，节能效率也逐步提高。因此，在工程选型时非晶合金变压器的容量宜大些。对于季节性负载较强的地区，如果配变处于轻载的时间较长，其空载损耗将成为电能损耗的主要部分。因此，在这类地区宜采用非晶合金变压器。

低压台区供电半径在很大程度上影响配网线损，流经低压配电网的电流较大，在导线截面一定的情况下，低压线越长，损耗越大。因此，一方面，配变应装设在所供台区的负载中心；另一方面，应增加配变的布点，避免低压长距离供电。

（3）优化变压器运行

由于变压器并联运行有很多优点，所以大型企业一般都有多台变压器同时运行。在运行中根据实际负载大小安排变压器台数，合理分配负载，将有效地降低企业的电能损耗和运行成本。对于低压侧存在联络关系的系统，只需通过操作低压开关即可实现运行方式的转换，相比之下，单纯新增或更换变压器不仅工作量大，而且经济性不高，甚至在较多情况下效果还不如低压侧联络的方式。低压联络系统可推广到相邻的多台变压器，且只需经过简单计算即可得出临界负载电流。在低压配变之间距离较近时，可在规划配变时增加低压侧联络线路，在同时考虑供电可靠性和经济性的情况下，选择合理线径的低压联络线，这种方式尤其适用于住宅小区供电。此外，在发达城市农村配网的台区改造方案中也可考虑低压联络的方式，如新增配变解决重、过载问题时可在新增配变和原配变之间增加低压联络线。

当负载的峰谷差较大且负载较长时间处于较低水平时，可增设小容量变压器，在负载较大时用主变压器供电，在小负载时用小容量变压器供电，这样既满足了大负载时配变容量的要求，也能在小负载时降低损耗。

（4）采用无功补偿提高功率因数

配电变压器的效率不仅随着输送有功功率的变化而变化，还随着负载功率因数的变化而变化，通常功率因数低时，变压器效率相应地也降低。对于变压器进行无功补偿，提高其功率因数，可以大大减少无功功率在变压器上的传输，从而减少变压器上的损耗。这种方法节能效果显著，通常会在功率因数较低时采用。此外，无功功率补偿还可降低高压电网的线损，提高变压器的负载能力，并改善用户的电压质量。

（5）加强配变的管理

在经济发达的城市，一个区供电局的配变规模可达数千台，这些配变的型号、容量和运

行状态各不相同，如何系统地管理配变台账，及时发现损耗较高的节点，并采取有效的节能降耗手段，是一项复杂的工作。

案例56 变频给排水系统的选用

1. 应用背景分析

目前，变频节能控制系统在生活给水、建筑给水等各类给排水系统中应用越来越广，主要表现在以下几点：

1）变频调速给水的供水压力可调，可以方便地满足各种供水压力的需要。

在设计阶段可以降低对供水压力计算准确度的要求，因为随时可以方便地改变供水压力。但在选泵时应注意，泵的扬程宜大一些，因为变频调速其最大压力受水泵限制。最低使用压力也不应太小，因为水泵不允许在低扬程、大流量下长期超载工作，否则应加大变频器和水泵电动机的容量，以防止发生过载。

2）目前，变频器技术已很成熟，在市场上有很多国内外品牌的变频器，这为变频调速供水提供了充分的技术和物质基础。

变频器已在国民经济各部门广泛使用。任何品牌的变频器与变频供水控制器配合，即可实现多泵并联恒压供水。因为建筑供水的应用广泛，有些变频器设计生产厂家把变频供水控制器直接做在供水专用变频器中，从实际应用情况看专用变频器具有可靠性好、使用方便的优点。

3）变频调速恒压供水具有优良的节能效果。

由水泵-管道供水原理可知，调节供水流量，原则上有两种方法：一是节流调节，开大供水阀，流量上升；关小供水阀，流量下降。调节流量的第二种方法是调速调节，水泵转速升高，供水流量增加；转速下降，流量降低，对于用水流量经常变化的场合（例如生活用水），采用调速调节流量，具有优良的节能效果。

2. 变频器在小区恒压供水系统中的应用

（1）系统组成

小区的日常供水是随着时间而变化的，因季节、昼夜相差很大，因此用水和供水的不平衡主要表现在水压上，即用水多而供水少则水压低，用水少而供水多则水压高。传统的方式是采用水箱和水塔或气罐加压的方法，在供水质量、日常维护管理和应付意外火警等方面均显示出明显的不足。

恒压供水控制系统的基本控制策略是采用电动机调速装置与可编程序控制器（PLC）构成控制系统进行优化控制泵组的调速运行，并自动调整泵组的运行台数，完成供水压力的闭环控制。在管网流量变化时达到稳定供水压力和节约电能的目的。

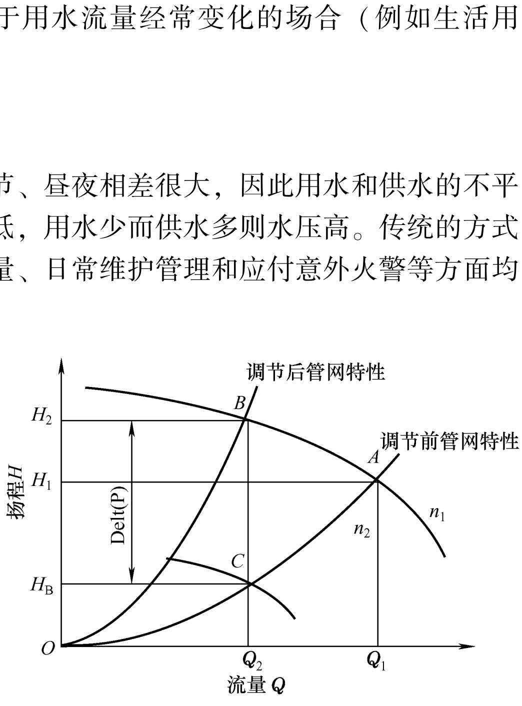


图3-51 水泵曲线

在住宅小区的管网系统中，由于管网是封闭的，泵站供水的流量是由用户用水量决定的。泵站供水的压力以满足管网中压力最不利点的压力损失 ΔH［即图3-51中的Delt（P）］和流量 Q

为基本出发点，它们之间存在着如下关系：

$$\Delta H = KQ^2 \tag{3-7}$$

式中　K——系数。

设 H_L为压力最不利点所需的最低压力，则泵站出口总管压力 H 应按下式关系供水，则可满足用户用水的要求压力值，又有最佳的节能效果。

$$H = H_L + \Delta H = H_L + KQ^2 \tag{3-8}$$

因此供水系统的设定压力应该根据流量的变化而不断修正设定值，这种恒压供水技术称为变流量恒压供水，即供水系统最不利点的供水压力为恒值而泵站出口总管压力连续可调。

变频恒压供水控制系统由 PLC 控制器、触摸屏显示器、变频调速器、压力变送器、水位变送器、交流接触器和其他电控设备以及泵组（水泵数量可以根据需要设置）等构成，如图 3-52 所示。

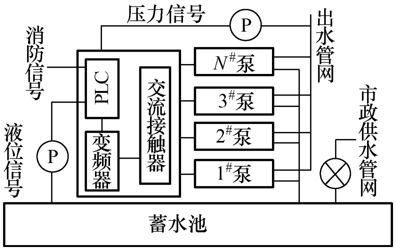


图 3-52　变频恒压供水控制系统

在供水系统总出水管上安装压力变送器检测出水压力，在蓄水池安装液位变送器，PLC 具有模拟量输入检测模块，检测压力变送器和液位变送器输出的 4～20mA 信号，将检测的压力信号与设定的压力信号经过 PID 运算后，通过控制变频器的输出频率来调整电动机的转速，保持供水压力的恒定，这样就构成了以设定压力为基准的压力闭环系统；自动检测水池水位信号与设定的水位低限比较，输出水位低限报警信号或直接停机。该系统还有多种保护功能，可以保证正常供水，做到无人值守。

（2）工作原理

该系统有手动和自动两种运行方式：

1）手动运行

按下按钮起动或停止水泵，可根据需要分别控制泵的起停。该方式主要供检修及变频器故障时用。

2）自动运行

合上断路器后，$1^{\#}$泵电动机通电，变频器输出频率从 0Hz 上升，同时 PID 调节器接收到来自压力传感器的标准信号，经运算与给定压力参数进行比较，将调节参数送给变频器，如压力不够，则频率上升，直到 50Hz，$1^{\#}$泵由变频切换为工频，变频起动 $2^{\#}$泵，变频器逐渐上升频率至给定值，加泵依次类推；如用水量减小，从先起动的开始退出，同时根据 PID 调节器给定的调节参数使系统平稳运行。

若有电源瞬时停电的情况，则系统停机；待电源恢复正常后，系统自动恢复运行，然后按自动运行方式变频起动 $1^{\#}$泵，直至在给定水压值上稳定运行。

变频自动运行功能是该系统最基本的功能，系统自动完成对多台泵软起动、停止、循环变频的全部操作过程。则系统的起动流程图如图 3-53 所示（以 3 台泵为例）。

（3）变频与工频的切换

在本系统中，3 台电动机会相继涉及变频与工频的切换，这时必须遵守切换原则：在电动机由变频器供电与工频供电相互切换时，必须在变频器输出频率为零时，方可切换变频输出，即变频器不准无负载输出和开路运行，也不允许带负载切换断电；对于从工频切回变频供电的

设备，必须在电动机断电停转后方可切换，以防止因电动机旋转发电而造成变频器的损坏。

图 3-54 所示为三菱变频器工频变频切换示意图。

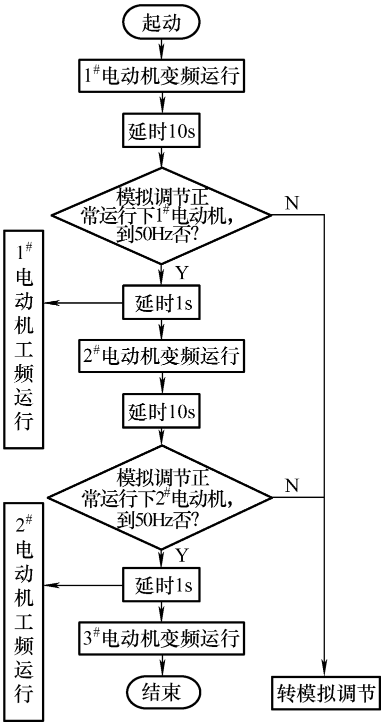


图 3-53　起动程序流程图

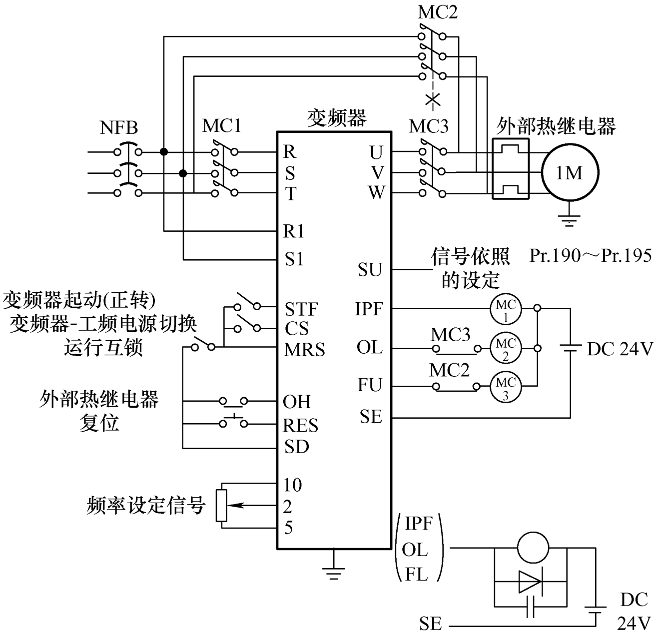


图 3-54　三菱变频器的工频变频切换示意图

案例 57　无负压给水节能设备的选用

1. 应用背景分析

无负压给水技术是 20 世纪 90 年代中期在国内继水箱、气压给水设备、变频调速给水设备之后发展起来的一种直接串接到市政给水管网的引入管或有压管道上加压的新型给水设备，具有全封闭、无污染、无负压、节能、占地少、安装快捷、运行可靠、维护方便等优点，已被广泛应用于新建、扩建或改建的居住区、民用建筑、公共建筑、工矿企业、城镇区域的二次加压给水系统。

无负压给水节能设备主要由稳流补偿器、真空抑制器、水泵、变频控制柜、控制仪表、管道配件等组成，并可根据需要预留加氯机或臭氧发生器接口，如图 3-55 所示。

无负压给水设备是利用变频调速给水技术、真空抑制与稳流补偿技术和全密闭自平衡结构设计，实现与市政供水管道直接串接加压而不产生负压，不影响其他用户用水的给水装置。设备运行时对串接处的进水压力与出水设定压力的差额进行补压，当进水压力大于等于出水设定压力时，设备自动停机，水流通过旁通管路由市政供水管道直接供水。在用水高峰期，当市政给水管网的供水管供水量瞬间小于用水量时，稳流补偿器、真空抑制器及其控制系统联合作用，稳流补偿器中的贮备水及时补充到用户中，同时抑制负压形成，且在系统运行的全过程中不与外界空气连通，全密闭运行。

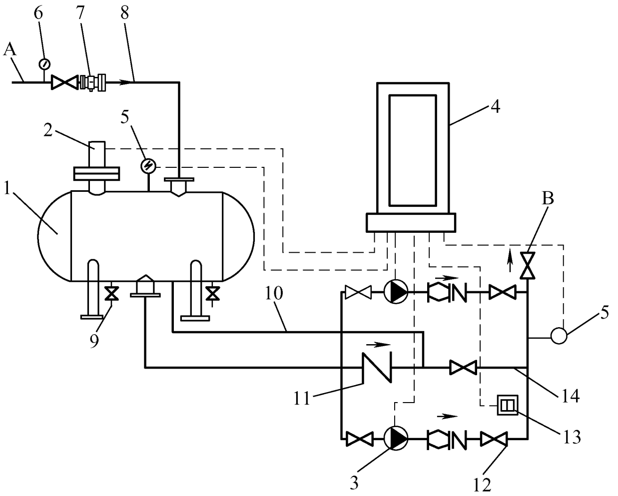


图 3-55　无负压给水节能设备组成

1—稳流补偿器　2—真空抑制器　3—水泵　4—控制柜　5—压力传感器
6—负压表　7—过滤器　8—倒流防止器（可选）　9—清洗排污阀
10—小流量保压管　11—止回阀　12—阀门　13—超压保护装置　14—旁通管
A—接市政给水管网或有压管网　B—接用户管网

稳流补偿器是连接在市政给水管网的供水管与水泵进水口的特制密闭装置，不与外界空气连通，可配合真空抑制器实现无负压、全封闭和稳流调节作用，稳流补偿器内的调节水量在进水量瞬间小于出水量时能及时补充给用户。真空抑制器则是根据稳流补偿器内的水量、水压等实现稳流补偿器内的压力平衡，使之不产生负压。

2. 使用范围和优点

可适用于直接由市政给水管网通过供水管抽水的生活、生产用水的二次加压供水系统，主要包括：

1）新建、扩建或改建的住宅楼、居住区及其配套设施的生活二次加压用水。

2）集体宿舍、旅馆、医院、学校、公共浴室、商场、办公楼等公共建筑的生活二次加压用水。

3）工矿企业的生产、生活二次加压用水。

4）城乡住宅小区的二次加压供水。

特别适应于下列情况：

1）市政给水管网的供水量足够，水压不能满足要求的场合。

2）不适宜设置贮水设备（水池、水箱等）、防止对水质产生污染的场合。

无负压给水设备不宜用于可能对市政供水管网造成不良影响的相关行业（如生化、核工业、有毒物质、辐射等）的二次加压给水工程。

优点

1）直接与市政给水管网通过供水管道串接，可利用市政给水管网的可资利用压力，运行节电节能。

2）系统 100% 全密闭设计，不与外界空气连通，杜绝水质污染。

3）稳流补偿器可缓冲进水压力波动和调节流量，设备运行稳定、可靠。

4）无须设置水池、水箱及消毒设施，可节省占地和投资。

5）无“跑、冒、滴、漏、渗”和水池、水箱定期清洗所损耗的水资源浪费。

6）设备布置紧凑，安装方便、简捷，便于扩建、改建或搬迁。

7）采用微机控制水泵变频调速运行，调整速度快、控制精度高。

8）由于利用了市政给水管网的可资利用水压，设备扬程低、功率小，运行噪声低。

9）设备软起动，对外部电网和水网的冲击小，设备自身的机械冲击和磨损及水泵切换时的振荡小，设备使用寿命长。

10）自动化控制程度高，保护功能齐全、不需值守、全自动运行，而且维护简单、管理方便。

案例 58 高层居住区给水的节电

1. 概述

由于高层居住区用水的不均匀性，在设计时通常采用变频增压泵来适应其用水量的变化，但是往往忽略一个细节问题，就是对于一个设计建成的管道系统，其管道特性系数是不变的定值，管道阻力随流量的减少而减小，设计采用的定压值是按最大流量的管道阻力确定的，系统定压点的设置位置通常都是在加压泵组的水泵出口管道上，这样就导致在系统的小流量状态下终端用户的水压大于设计水压（最大用量的计算水压力），存在能量的浪费；另一问题是变频水泵在低转速条件下的效率下降问题，普通泵在电动机频率降到 42Hz 以下后效率急剧降低，而居住区的用水高峰出现的时间极短，绝大部分时间水泵均工作在部分负载状态下且有相当长时间（23:00 ~ 次日 6:00）工作在极低流量状态，在这段时间内水泵电动机运行效率很可能就处在 42Hz 以下。

2. 给水策略

理想的做法是把系统定压点设在系统的最不利位置，根据系统流量的大小设置动态的定压压力值并配置一定调节容积的气压罐，用来解决极低流量下变频泵运行不节能的问题，变频泵组的设置也应当大小泵合理搭配，大泵选定大流量高扬程的型号，而小泵应当选定小流量低扬程的型号，这样才能提高水泵电动机效率，减少二次加压过程中的能量浪费问题。

案例 59 深井泵变频供水设备的选用

1. 概述

图 3-56 所示为深井泵，它的最大特点是将电动机和泵制成一体，它是浸入地下水井中进行抽吸和输送水的一种泵，被广泛应用于农田排灌、工矿企业、城市给排水和污水处理等。由于电动机同时潜入水中，故对于电动机的结构要求比一般电动机特殊。其电动机的结构形式分为干式、半干式、充油式、湿式 4 种。

图 3-56 深井泵外观

2. 深井泵变频供水设备的选用

某供水加压站正是为满足该片区不断扩大的供水需求而对该站的原四台 90kW 深井泵机组中的两台进行了扩容改造，更

换为185kW深井泵机组，目的是实现四台机组三用一备。四台深井泵及配用电动机的有关参数见表3-11所列。四台机组因全部工频运行，管网的压力和出厂水流量控制是利用调整出厂的总阀门来调节。扩容后虽然该加压站满足了供水需求，但由于设备容量还存在一定的裕量，给出厂压力的调整带来极大的困难，从而造成机组始终运行于低效率区，造成该加压站供水电耗急剧增高，浪费电能；另外，由于供水压力变化差距大，工人开停机组和阀门的调整频繁，工作强度、难度提高，给供水安全造成一定隐患。为此决定以某型变频器对该站1#机组实施技术改造，实现恒压供水的同时节能降耗。

表3-11　深井泵及配用电动机的有关参数

机组编号	深井泵						
	型号	流量/(m^3/h)	扬程/m	转速/(r/min)	功率/kW	电压/kV	电流/A
1#、4#	400JC/K550×4	550	72	1480	185	0.4	345
2#、3#	350JC/K340×5	340	70	1480	90	0.4	167

为保障供水，电动机采用自耦减压起动箱和变频柜双路控制，目的在于当变频柜自身故障时可采用自耦减压起动箱起动和控制机组的运行，而不妨碍供水，为防止误操作，使自耦减压起动箱和变频柜同时为电动机供电，造成变频柜反送电而致使其造成损坏，在自耦减压起动箱和变频柜出线主回路中加装双投隔离开关QS实现对电动机的电气机械互锁。如图3-57电气原理图所示。

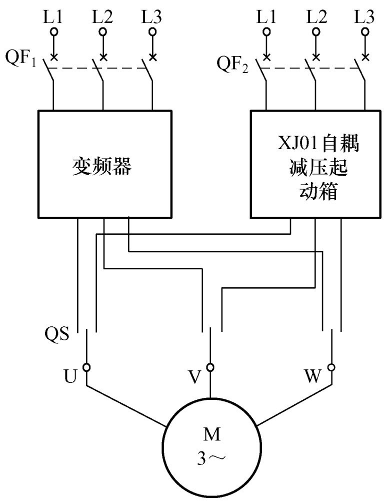


图3-57　电气原理图

考虑到深井泵特性曲线与离心泵特性曲线相比较硬，且变频状态电压频率在35Hz以下水泵不出水的问题，在设定运行参数时将电动机的下限转速设定为1180r/min，即按照电动机额定转速的80%设定，此时电压频率为40Hz。当电动机转速低于1180r/min时，输出电动机转速信号，控制继电器起动音响报警回路提醒运行人员停机或倒换机组。

变频改造后经运行试验：对所采集的运行数据进行计算、分析，并与变频改装前100h运行数据进行比较，节电效果明显。数据比较如表3-12所列。

表3-12　改造前后的数据

	改造前	改造后
单机电量合计/kW·h	17920	13920
出厂压力/MPa	0.52~0.65	0.58
流量/m^3	64723	64506
单机单位电耗/(kW·h/m^3)	276.87	215.79

案例 60　生活消防合用变频供水设备的选用

1. 概述

对多层建筑,《建筑设计防火规范》GBJ16—1987 第 8. 1. 2 条规定“消防给水宜与生产、生活给水管道合用”。但对高层建筑,《高层民用建筑设计防火规范》GB 50045—1995 第 7. 4. 1 条规定“室内消防给水系统应与生活、生产给水系统分开独立设置”。而 12 层以内小高层建筑（特别是住宅楼群）,生活消防压力差别不大,若管材选用适当或消防管路采取防倒流措施,在采用变频设备及电源可靠条件下,允许生活消防合用供水设备。

2. 生活消防合用变频供水设备的选用

生活消防合用变频供水设备有以下优点:

1）生活消防泵组定时轮换运行,不会因消防泵长期不用或管理不善而使水泵锈死,机组时刻处在工作状态。

2）生活泵组和消防泵组合用,基本节省一套消防泵组,且便于设备管理和维护。

3）设备自动化程度高,供水稳定可靠,且水质无二次污染。

4）水泵软起动软停车,无冲击和超压危害。

系统可按循环软起动变频设备或带小流量泵的循环软起动变频供水设备选型,主泵流量按生活、消防两者最大的来选择,并留有 1 台备用泵,扬程一般按消防设计压力选择。另外还应注意以下几点:

1）应设消防接口,如有消防报警系统应设 DC24V 无源起停接口,如为消防按钮控制,宜留 AC220V 有源接口。

2）应有消防时确保消防用水的技术措施,如在生活总管上安装电磁阀,消防时关闭生活用水。

3）应设水位接口,消防低水位报警,并关闭生活用水。

4）应有双恒压功能,即平时低恒压生活供水,消防时自动转入高恒压消防供水。

5）消防时应限制退泵操作,以防止压力不稳。

案例 61　带小流量泵变频供水设备的选用

1. 概述

当变频供水系统在小流量或零流量的情况下,比如在夜间用水低谷时,系统内的用水量很小,此时水泵在低流量下运行,会造成水泵效率大大降低,不能达到节能的目的,水泵功率越大用电越多。例如对 300 ~ 1000 户的多层住宅小区或 600 户左右的小高层住宅楼群（12 层以内）的生活用水系统,生活主泵功率一般在 15kW 左右,系统的零流量频率 f_0 一般为 25 ~ 35Hz,故在夜间小流量时,采用主泵变频供水效率较低。

2. 带小流量泵变频供水设备的选用

供水系统在小流量或零流量时需要考虑节电问题,一般可以采取 4 种方案:①变频主泵 + 工频辅泵;②变频主泵 + 工频辅泵 + 气压罐;③变频主泵 + 气压罐;④变频主泵 + 变频辅泵。从节能、投资角度看第 4 种方案更为适宜,该方案即在原变频主泵基础上,再配备 1 ~ 2 台小泵专用在夜间或平时小流量时变频供水,一般选择小泵流量为 3 ~ 6m^3/h,居民区

户数越多，流量可适当选择大些。小泵功率一般为1.5～3kW，小泵的扬程按主泵扬程或略低于主泵扬程即可。

变频柜采用PLC控制，程序采用模块化设计，系统控制流程如图3-58所示。平时系统运行于主泵循环软起动变频供水模式，系统用水量减小时，主泵频率逐渐降低，当频率低于小流量频率时，调节器发出低频切换信号，延时2min，系统自动进入小泵变频供水模式。当用水量增大，小泵流量不能满足系统需要时，调节器发出满频信号，延时5min，系统自动返回主泵循环软起动变频供水模式。为达到更好的节能效果，系统也可实现双恒压供水功能。

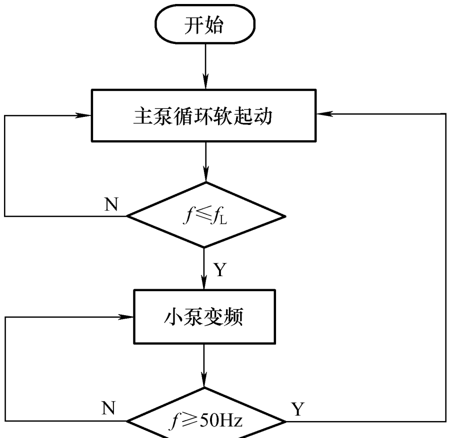


图3-58　变频柜PLC控制流程

案例62　微机供水节电控制器的选用

1. 概述

CPS系列恒压供水控制器是典型的微机供水节电控制器，已广泛应用于全国各大中小城市供水系统中。以下就CPS系列各种型号特点作些简单介绍，以方便用户选取合理的变频供水解决方案。

（1）CPS-20A1型

它为单台固定变速泵加2台定速泵阶梯投切方式，并配有附属小泵。此种方式比起传统的采用改变供水机组并列运行的台数或截流措施来合理经济得多。对供水机组来说，服务压力的变化，机组水量可以不同，但额定扬程基本相同，小流量时，参加运行的机泵工作扬程会低于其额定扬程，效率降低，而截流乃是通过改变管道特性曲线的形状来适应管网中流量的变化，如此便在水阀门的两侧产生了一个压差ΔH与当时输水量Q的乘积$\Delta H \cdot Q$便是出水阀门在调节时的能量损失，这一部分损失由电动机向电源索取。20A1型这种配置可以很好地解决这一问题。

必须注意：此种方式中选定的调速泵必须是所有泵中容量最大者，否则容易造成系统压力不稳定。定速泵与变速泵配合工作时效率下降值是有限制的，在一定的Q、H范围内，定速泵与变速泵可以在同一扬程下协调工作。当管网中的压力降低时定速泵以增加流量的方式与变速泵在同一扬程下工作；在用水量很小的情况下，20A1型可自动将主泵关闭，将附属小泵打开，附属小泵为工频工作方式，并可设置停泵压力误差。主泵投切的延时可以人为设定。

（2）CPS-20B1型

它为三台可循环软起动控制方式。此方式为多泵变频供水提供了较好的解决方案，每台水泵均可由变频器平滑软起动，无冲击电流。泵可交替投入运行，大大延长了水泵的寿命。多泵循环还可降低工程造价，避免单泵变频深度调速。在多泵调速的实际测定中，水泵若由于工况点不在运行效率范围内，可以用改变水泵转速的方法使工况点移动而进入推荐的效率范围，从而提高了整机的运行效率。20B1型还提供了小流量的小泵工作方式，且小泵变频、工频可选，在极端压力变化下，建议使用CCPS（即变压变量）控制方式，即流量补偿功能，可保持最不利点压力稳定。

（3）CPS-20C1 型

它功能强大，可控制 6 台主泵 +1 台附属小泵，所有泵均可设定为变频或工频工作方式，具备循环软起动、自补偿切换、水泵切换压差设定、六段定时开关机、变量泵定时换泵、内外部流量补偿、传感器定标、故障自诊断、水位保护、手动调试等功能。

不仅如此，20C1 型的卓越性还表现在消防方式上，为消防系统供水的解决方案首选。在消防模式上，20C1 型提供了四种方式供用户选择，除基本的执行第二压力设定外，消防泵的工作方式可设定为工频运行、工频巡检；工频运行、变频巡检；变频运行、变频巡检，如此灵活的配置可以解决用户多方面的要求，举个简单例子，假如用户既想将消防系统中的稳压泵的变频器适量配置，又不想在平时消防泵巡检时对管网冲击太大，那么变频巡检，工频运行这种模式便很好地解决了这个问题。该模式下用户可以用一个小的变频器来拖动一台大的消防泵，这样便可以节约大量用于购买大功率变频器的资金，安全的情况下，变频器与消防泵的功率比可达到 1:2，此时被拖动负载在低频下运行。

2. CPS 接线和参数说明

CPS 的接线必须按照配置的情况合理接线，以 CPS-20C1 型为例（见图 3-59）。

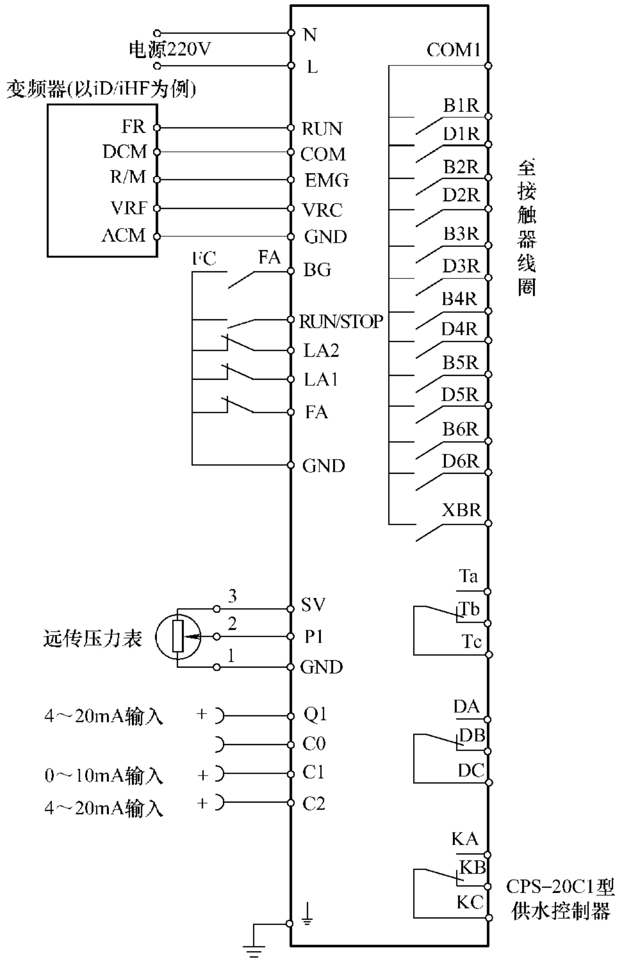


图 3-59　CPS-20C1 型典型接线图

（1）端子说明

1）上排端子说明见表3-13。

表3-13 CPS-20C1型上排端子说明

端子名称	说明	端子名称	说明
N	控制器输入电源	B5R	5#变量泵接触器控制接头
L	交流220V	D5R	5#定量泵接触器控制接头
⏚	接大地	B6R	6#变量泵接触器控制接头
COM1	输出继电器公共端	D6R	6#定量泵接触器控制接头
B1R	1#变量泵接触器控制接头	Ta	控制器报警输出
D1R	1#定量泵接触器控制接头	Tb	Ta、Tc为常开触头
B2R	2#变量泵接触器控制接头	Tc	Tb、Tc为常闭触头
D2R	2#定量泵接触器控制接头	DA	控制泄压电磁阀输出（用于消防）
B3R	3#变量泵接触器控制接头	DB	DA、DC为常开触头
D3R	3#定量泵接触器控制接头	DC	DB、DC为常闭触头
B4R	4#变量泵接触器控制接头	KA	控制器可编程控制接点输出
D4R	4#定量泵接触器控制接头	KB	KA、KC为常开触头
XBR	附属小泵接触器控制接头	KC	KB、KC为常闭触头

备注：1. NC为空脚；
2. 输出触头容量为220V/3A。

2）下排端子说明见表3-14。

表3-14 CPS-20C1型下排端子说明

端子名称	说明	端子名称	说明
RUN/STOP	控制器运行控制信号	RUN	变频器运转、停止控制端常开触头
GND	ON运行 OFF停止	EMG	变频器的滑行停止控制端常闭触头
LA1	低水位信号输入端	COM	公共端触点容量30V/0.3A
GND	ON有效 OFF控制器停止	SV	远传压力表信号输入端接+5V高端
LA2	高水位信号输入端	P1	远传压力表信号输入端接动端
GND	水位恢复后控制器自动工作	GND	GND为0V，接低端
FA	消防控制信号	C0	压力传感器电流信号公共端
GND	ON运行第一压力 OFF运行第二压力	C1	0~10mA输入（与C0连接）
BG	变频器故障信号输入	C2	4~20mA输入（与C0连接）
GND	ON变频器故障状态	Q1	流量传感器信号；正端4~20mA
VRC	控制器模拟电压输出	GND	负端
GND	（控制变频器频率）V_{MAX}=5V或10V	NC	空脚

注：1. 下排端子均为弱点控制信号，不可与强电接通；
2. 输入触头容量DC15V/10mA。

（2）功能代码（见表3-15）

表 3-15 功能代码一览表

代码	功 能	设定范围	单位	说 明	出厂值
01	第一压力	0～99.9	kg/cm^2		3.00
02	第二压力	0～99.9	kg/cm^2		4.50
03	传感器量程	0～99.9	kg/cm		10.0
04	传感器调零	0～30 量程	%	当实际压力为零时，传感器反馈信号可能不为零，使显示有误差；此功能可使其一致	
05	控制器输出定标	5/10	V	选择控制器输出的频率给定范围 0～5V/0～10V	5
06	变频器功率	<200	kW	设置此参数后，控制器自动决定切换时各种延时时间	7.5
07	变频器加减速时间	1～200	s	准确输入此参数能使系统控制性能更佳	10
08	频率下限	1～50	Hz	当变频器驱动水泵工作低于这个频率时，水泵不出水，应该停止水泵运行；本参数也是附属小泵的起动频率	
09	定时换泵	1～99	h	Cd09 = OFF：功能无效，不能定时换泵； Cd09 = ON：功能有效，按照设定间隔切换	
10	流量补偿①	0～9.9	kg/cm^2	Cd10 = OFF：没有流量补偿； Cd10 = 1 时，内部补偿； Cd10 = 2 时，外部补偿	OFF
11	附属小泵停止压力误差	0～9.9	kg/cm^2	当附属小泵起动后，所有主泵都已关闭；若压力低于设定值，则起动小泵。若压力高于（设定值 + "误差"），则延时后停泵。当系统只有定量泵时，此参数作为水泵器停依据	1.0
12	消防泵巡检②	1～720	h	Cd12 = OFF 不巡检； Cd12 = ON 有巡检，并输入数据	
13	切泵压力误差	0～9.9	kg/cm^2	水泵台数发生变化（增加或减少）时，为了避免水泵频繁启停或者其他需要，允许压力在一定范围内变动。可设置合适的误差值，小于此误差则不切换	0.05
14	显示模式			Cd14 = 1 时： 1#显示窗显示 P 按 SET/MON 键可切换显示 F 、Q 、T 、P； 2#显示窗显示时间中的小时； 3#显示窗显示时间中的分和秒 Cd14 = 2 时： 1#显示窗显示 P 按 SET/MON 键可切换显示 Q 、T 、P； 2#显示窗显示切换延时剩余时间 T1； 3#显示窗显示 F	1

（续）

代码	功　　能	设定范围	单位	说　　明	出厂值
15	时钟校准			按照面板操作，闪烁区可改变数值；通过可改变闪烁区（从左到右）	
16	定时控制	1～6		Cd16＝OFF 时，没有定时开、关机功能；Cd16＝1to6 每天有 6 次开关机控制	OFF

注：1. 流量补偿：补偿值为流量最大时自动提升的最大压力增量；不同 Q 时，压力设定增量按近似管网阻力曲线变化。

2. 消防泵巡检：不同规格型号的控制器，消防泵的巡检方式不同。

水泵设定：P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7 设为“ON”则参与工作，设为“OFF”则不参与工作。

总之，了解 CPS 各种型号控制器的特点，就可以灵活地配置，最终确定合理的供水方案。当然，优秀的水系统是由多方面构成的，并非都能依靠控制器来解决。例如为了抑制水锤就必须采用减振阀。系统发生振荡，还需分析管路设计是否合理，是否有气压罐，管路内是否有空气等。采用电动机结合，相互配合的原则，特别是在水泵选型方面，更要充分考虑实际分流情况，如果选型合理，则分流能够充分发挥变频节能的优点且系统运行稳定、安全、可靠。

案例 63　污水泵系统的变频改造

1. 概述

在人类的生活或生产过程中都会产生污水，这时需要多台排水泵统一将污水排出到污水处理中心。传统的工作方式是根据人工观测或远传显示污水池的液位状况，由操作人员手动控制多台水泵的运行或停止。许多现场工作环境恶劣，控制室远离污水池，很多故障发生时不能及时发现并予以解决，存在很多问题，如未能及时起动排水泵，造成污水池的污水溢出，或污水池的液位低于下限却未能及时停止排水泵的运行，造成水泵空转以至于烧毁水泵和电动机。排水泵在起动或停止过程中，由于是直接接通或断开电源，能产生很大的电气和机械冲击。从电气方面考虑需加大电网变压器的容量，以减少对电网的不良影响，增加了设备投资；同时，也会给电动机及相关的电气元件带来很大危害，减少了使用寿命；而排水泵的起停所产生的水压冲击对水泵及管道的影响也不能忽视。

2. 变频改造控制方案

实际生产、生活过程中产生的污水经多路汇集到污水池，经过沉淀等环保处理由三台 55kW 的潜水泵完成污水池的集中排水工作。根据污水池的液位变化就可以确定排水量的多少，通过三台排水泵的起停运行及单台调速运行来实时调整排水量，就可以控制污水池的液位，实现闭环控制，从而达到了节能要求，如图 3-60 所示。流入水量的增加反映到污水池的液位升高，需排出水量加大，就要加快水泵电动机转速或增加水泵的工作台数，使污水池的液位降低，直到满足

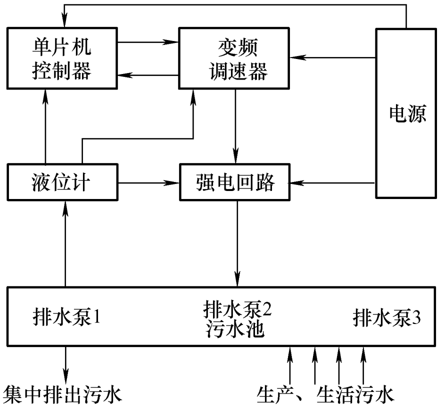


图 3-60　排水泵控制系统

设定要求；相反，流入水量的减少反映到污水池的液位降低，需排出水量减少，就要减慢水泵电动机转速或减少水泵的工作台数，使污水池的液位升高，直到满足设定要求；这种控制方案又可称谓恒液位变流量控制。

原有系统采用远传显示污水池的液位状况，由操作人员手动控制多台水泵直接起动或停止来改变排水流量的大小。由于直接接通或断开电源，能产生很大的电气和机械冲击。从电气方面考虑，就需加大电网变压器的容量，以减少对电网的不良影响；同时，也会给电动机及相关的电气元件带来很大的危害，减少了使用寿命；而排水泵的起停所产生的水压冲击对水泵及管道的影响也不能忽视。

本系统采用交流变频调速装置，在增加投资不是很多的情况下，从根本上解决了上述种种问题，而且在节能方面有着很大的优势，同时系统的自动控制、自动保护以及可靠性等均达到了较高水平。

三台排水泵工作采用一台变频器控制，单台水泵调速运行，另外两台可以根据需要分别自动起动或停止，但每台泵的起动均为变频调速起动。因此保证了最小的设备投资完成了三台变频起动，较好地满足了节能和自动控制要求。

为保证系统的可靠运行，当变频器、控制器或传感器任何一部分出现故障时，可以采用相对独立的手动控制。用一个手动/自动转换开关就可以实现手动、自动的转换。在手动控制状态，每台排水泵的起动和停止均由相应的按钮控制，采用直接起动方式，由操作人员现场完成。手动工作时，浮球开关液位计仍然正常工作。在液位低于下限时，它产生的开关控制信号禁止任意一台排水泵工作，防止排水泵因空转运行而烧毁。

案例64　基于S7-200的路灯节电控制器设计

1. 概述

传统的路灯节电控制技术多采用路灯“单边亮灯”，“隔柱关灯”等控制方法。这种节电方法主要缺点是导致路面照度分布不均，形成块状阴影，给治安及交通安全埋下了很大的隐患；同时不能避免后半夜电网电压升高对路灯寿命的减损。

2. 路灯节电控制器的硬件组成和软件设计

路灯节电控制器主要由以下部分组成：控制器S7-200 PLC、电压检测与调理电路、电流和温度检测与保护电路、光控电路设计、键盘与显示电路和电压调节与控制电路等部分组成。其系统结构框图如图3-61所示。

S7-200 PLC根据内部时钟信号，自动控制路灯节电器24h循环运行，如有特殊情况（如天黑比预设时间早），此时光控功能发挥作用，弥补时控方式的不足，更加合理地控制路灯节电装置运行。电压检测与调理电路能根据电网供电电压的高低选择不同的节电运行模式，达到合理的节电效果。键盘与显示电路可设定、修改和观察系统的运行和设定的参数。电流和温度检测与保护电路提高了系统运行的可靠性。整个系统设计结构紧凑、功能完备、使用方便。

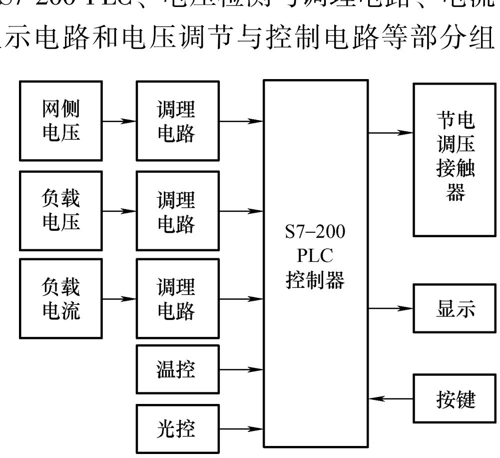


图3-61　路灯节电控制器系统结构框图

S7-200 PLC 内部时钟预先设定路灯控制节电器的工作模式，实现自动运行。路灯节电控制器主要有四种工作模式：时控模式、光控模式、压控模式和旁路模式。可根据用户的实际需要，选择不同的工作模式或模式组合。主要以时控模式为主，其他工作模式为辅。PLC 控制器根据内部时钟预先设定，使路灯节电控制器工作在轻度节电、中度节电、深度节电 3 种节电运行状态。光控模式的作用有两个：

1）当天黑时间早于 PLC 设定时间，光控电路控制路灯运行，光控使能时间大于 5min，直到节电设定时间。当节电装置设定工作时间到来时，系统以时控为主；

2）当 PLC 出现故障时，光控可以控制路灯继续工作。压控模式是节电效果最好的运行模式。当电网的供电电压高于或低于路灯工作电压时，PLC 控制器根据检测的电压值控制路灯运行在最佳节电和安全运行状态。旁路模式是路灯节电控制器的应急运行模式。当电网供电电压低于额定值、节电控制器出现故障或严重负载故障时，使系统直接进入旁路状态（不节电），保证路灯正常工作，提高系统的可靠性与可维护性。

PLC 选用西门子 S7-200 控制器，所选用的核心模块为 CPU224 继电器型输出；电压电流采集模块为 EM231，4 输入、12 位精度，模拟量输入范围为单极性 0 ~ 10V，分辨率为 2.5mV，EM231 能在 250μs 时间内完成模数转换。CPU224 的 10 位输出，其中 4 位用于控制路灯工作在 4 种不同的节电状态（轻度节电、中度节电、深度节电和旁路）；剩下的 6 位用于显示。由于继电器输出型 PLC 的 I/O 口开关次数有限，因而系统的显示不宜采用动态显示或串行显示，为提高继电器输出口的寿命，采用静态显示。系统显示框图如图 3-62 所示。

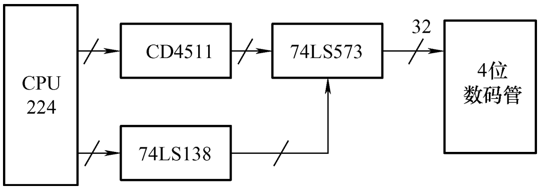


图 3-62　系统显示框图

案例 65　GSM 短消息控制的智能照明节电系统

1. 概述

照明节电控制装置中控制系统和监控中心的通信由 GSM 模块利用 GSM 网络实现无线数据传输和系统远程监控。GSM 网络具有盲区少、信号好、全国联网漫游的特点，特别是 GSM 的短信息服务，灵活方便，可以自动漫游传送，而且发送按条计费，低廉可靠。

2. 系统硬件设计

照明节电装置是实现照明用电自动控制的重要终端设备，通常安装在照明用电进线端，经过节电系统将电压施加在照明设备上。智能节电装置的设计要求是：能够适应电网供电电压各个时间段差异比较大的现状，可以分时段控制输出电压；节电系统工作性能稳定可靠，如果出现意外情况，能够直接从电网输出电压。

智能照明节电系统的硬件总体由处理器、数据采集与转换电路、GSM 模块、温度测量装置和降压执行装置等组成。其核心思想就是由 89C52 单片机作为处理器，完成检测照明回路的电压、电流值以及现场显示，通过 GSM 模块将检测结果上报监控中心，并根据程序预先设定或者键盘输入或者监控中心设定对采集的数据实时处理，控制执行电路对电网的输出电压实时调控。系统设计的总体框图如图 3-63 所示。

GSM 模块选择西门子公司生产的 MC35i 模块，它是专为 GSM/GPRS 通信设计的专用双

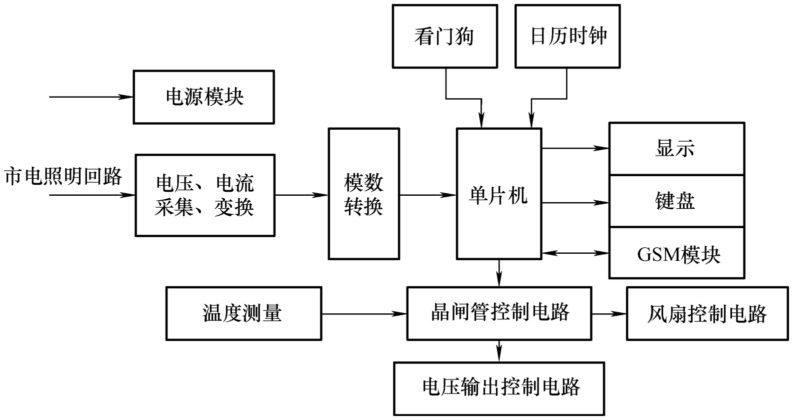


图 3-63　系统的总体框图

模块，工作于 EGSM900 和 GSM1800 频段。单片机与 GSM 模块通信通过串口发送 AT 命令完成。MC35i 模块与单片机的接口电路如图 3-64 所示。注意单片机与 MC35i 串口不能直接相连，因为 89C52 管脚为 5V 标准 TTL 电平，而 MC35i 电平较低，为 3V 左右，需要在单片机和 GSM 模块之间加了一个 MAX232 电平转换电路。

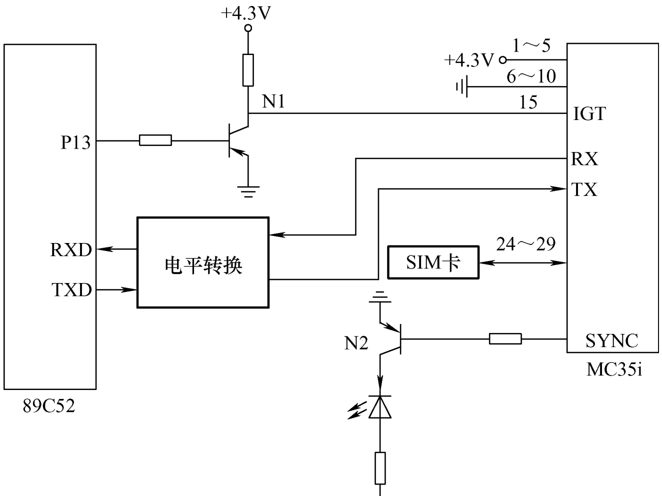


图 3-64　MC35i 模块与单片机的接口电路

短消息的发送和接收控制共有 3 种模式：Block 模式、基于 AT 命令的 Text 模式和基于 AT 命令的 PDU 模式。其中只有 PDU 模式可以用于中英文短消息传送，但因为有编码、解码过程，所以较 Text 模式复杂。由于 PDU 模式有很好的数据信息存储格式，并对中文有很好的支持，PDU 模式在 GSM 移动设备中使用最为普遍，现在各大网络公司都采用 PDU 模式来进行短消息的处理。

根据 GSM07. 05 的定义，只要终端通过 UART 接口向 GSM 模块发送 AT 命令，就可以直接读取收到的 PDU 模式的短消息。PDU 模式的数据表面上看是一串 ASCII 码，其数据不仅

包含可显示的消息本身，还以固定格式包含很多其他消息，如 SMS 服务中心号码、目标号码、回复号码、编码方式和服务时间等。目前，国内汉字显示采用 GB 2313 编码，而 GSM 标准中中文编码采用 UTF8 编码，因此处理短消息时需要进行中文编码的转换，才能与采用 GB 2313 汉字库相配合显示汉字字型。图 3-65 所示为 UTF-8 编码到 GB-2313 编码转换流程图。

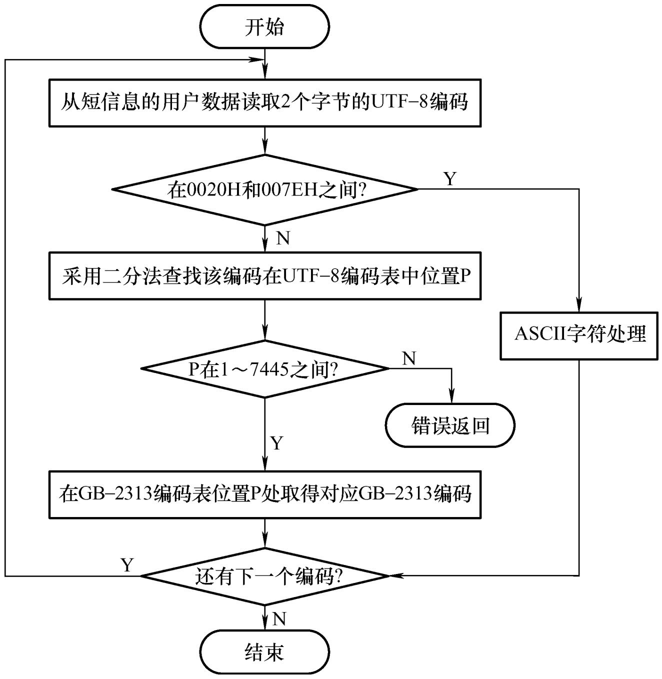


图 3-65　UTF-8 编码到 GB-2313 编码转换流程图

案例 66　港口照明的节电

1. 概述

港口是为国民经济和社会发展提供服务的基础性产业。随着港口的机械化、自动化程度的日益提高，港口的货物吞吐量及衍生产业快速增长，能源消耗也继续呈现增长态势。某港口共有 154 座高杆灯，因电压偏高，除产生正常所需的能量外，还伴随无效的超标准的热能损耗。该超标热能，既消耗电能，又减损电器器件的使用寿命，在照明用电中属“用电大户”。

高杆灯供电电压为 380/220V，50Hz。设计电压偏差在 ±5% 以内。根据电力部门和使用部门提供的实测数据，港口夜间实际电压一般在 ±3% ～ ±5% *Ue*，短时最高可达 ±6% ～ ±8% *Ue*。电源分别从就近变电所电缆引进。

高杆灯照明电源均由所在地的变电所供电。每套照明设备均由变电所单独回路供电。照明及控制电缆主干线均采用电缆排管沟铺设。每座高杆灯上设 3 盏灯具，采用通用电气 GE 照明产品，光源规格为 220V、1kW 高压钠灯，则每座高杆灯功率为 3kW，镇流器损耗和其他损耗对总出入功率的增加值需另计。

2. 方案设计

根据变电所现场情况确定整个配电系统的节电改造电气原理示意图如图 3-66 所示。Snw 为节电装置，串联在负载总控制开关电源输出侧，对其进行节电控制；PL 为节电装置内置旁路系统，若节电装置出现异常可以迅速为负载提供旁路电源，避免因停电造成的生产损失。

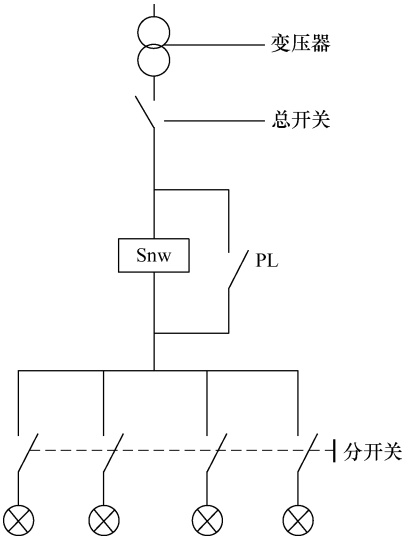


图 3-66 节电系统布控示意图

根据变电所的情况确定节电设备的安装位置，主要考虑节电设备的摆放空间，变压器位置，所带负载位置，方便操作等方面考虑。设定好设备的位置后，根据设备位置布置电缆的走向，并形成施工图，如图 3-67 所示。

对投入使用的设备进行测试。测试使用后的节电率，电网的用电环境，包括谐波含量，功率因数等参数是否满足要求，具体测试结果见表 3-16。节电设备投入使用后，电网谐波含量大幅降低，功率因数均达到 0.96 以上，电压稳定在经济电压的范围之内，节电器投入使用后照明灯具的照度受影响的幅度小于 5%，并且满足生产所要求的标准。

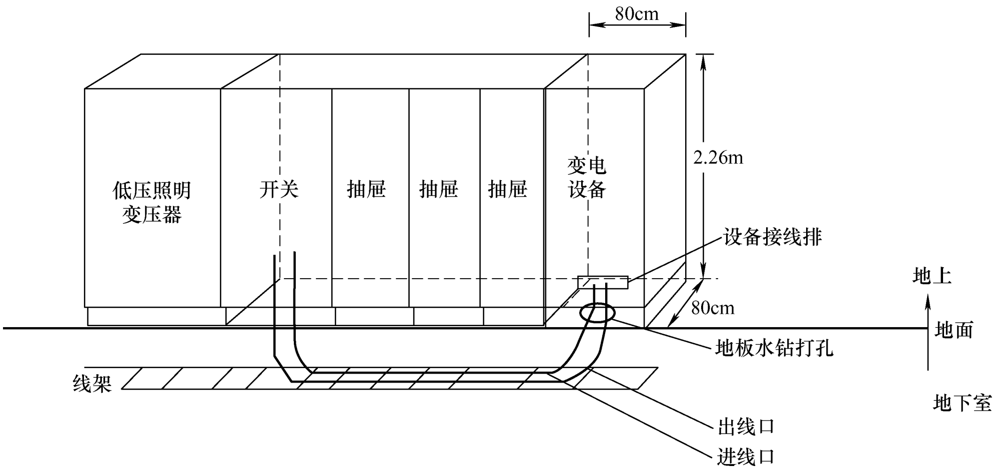


图 3-67 变电所施工图

表 3-16 节电器安装前后测试数据对比

		电压/V		功率因数	
		投入前	投入后	投入前	投入后
运行数据（投入前/后）	A 相	237. 5	210. 1	0. 85	0. 99
	B 相	237. 7	210. 3	0. 933	0. 95
	C 相	237. 1	210. 5	0. 84	0. 93

案例 67　单位停车场照明系统的节电改造

1. 概述

某单位内部停车场的照明开关采用人工操作，虽然能满足日常需要，但由于开关不及时造成需要照明时灯具没有开启，不需要照明时灯具没有关掉，既浪费了电能又缩短了灯具寿命，存在着极大的浪费，能耗居高不下。

2. 节电改造方案

通过分析研究制定了比较合理的管理模式，原则上交接班高峰时段由时钟控制灯具开启，使车位、行车道灯具点亮，保证上、下班的员工使用，其他时间段，车位照明灯具关闭，只保留行车道照明灯具打开，供少数人使用。靠近窗户的传感器检测到照度值小于200Lx 时，近窗照明灯具打开，当照度值大于 300Lx 时，近窗照明灯具关闭；且 23：00 ~ 6：00 灯具始终处于关闭状态。

这就要求系统提供智能分段时钟控制和光感智能控制两种基本控制方式，实现控制的自动化。结合本地智能控制和远程智能控制，可以更加灵活地调整开关灯时间和设置光感阈值等参数，做到随需而变使得管理更加科学灵活，实现控制的智能化。虽然不再需要人工操作，但管理人员仍可在本地设备进行必要的查看和设置以备应急处理。

经反复研究发现，灯具的光电特性为节电设备控制节电提供了空间，因为灯具有一个工作电气参数和发光特性的最佳匹配值“拐点”，如图 3-68 所示。供电的电流电压超过“拐点”之后再升高对灯的亮度影响不大，主要是增加发热耗电，同时降低灯具的使用寿命。因此，调整波动电压，使电压保持在原本存在的波谷位置，既不影响使用，又能大量节约电能。

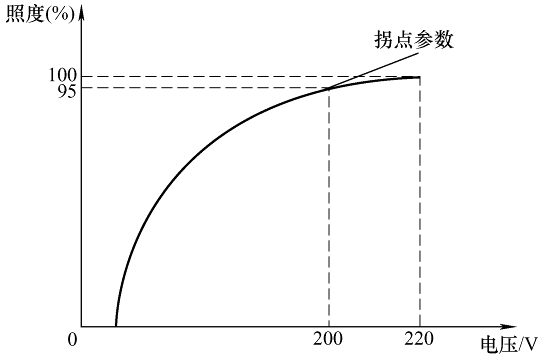


图 3-68　灯具电气参数与发光特性的最佳匹配值“拐点”

根据上述要求，可以将计算机控制技术、闭环自动控制技术、励磁控制技术等应用到停车场照明系统中，其工作原理如图 3-69 所示。该节电设备由嵌入式控制单元（电脑盒）、执行器件（节能线圈等）和辅助单元（传感器等）组成。

1）节电线圈。多组合节电线圈综合运用了电磁平衡技术、电磁移相技术和零序电压、负序电压补偿技术，从而减小了附加损耗和中性点偏移，使电压、电流不平衡现象得到改善。较之只有一组自耦变压器的低端产品，能够提供 8 种输出电压组合方式，满足了动态跟踪和连续调节的需要，没有灯闪灯灭现象。主回路没有触点和电子元器件，解决了以前产品的带载调节打火与拉弧问题，提高了产品自身抗电网电压波动和大负载冲击能力。

2）节电控制。电脑盒根据检测到的不同照明回路最佳节电工作电压，控制执行器件的功率输出，使得照明系统无论在任何时间里都工作在最优的节电状态。电脑盒可采集三相电压、电流、功率、电能、功率因数等参数，通过控制单元处理以上参数可用于实现输出的动态调节、与设定值比较越线报警、本地液晶显示和存储、远程监控等功能。

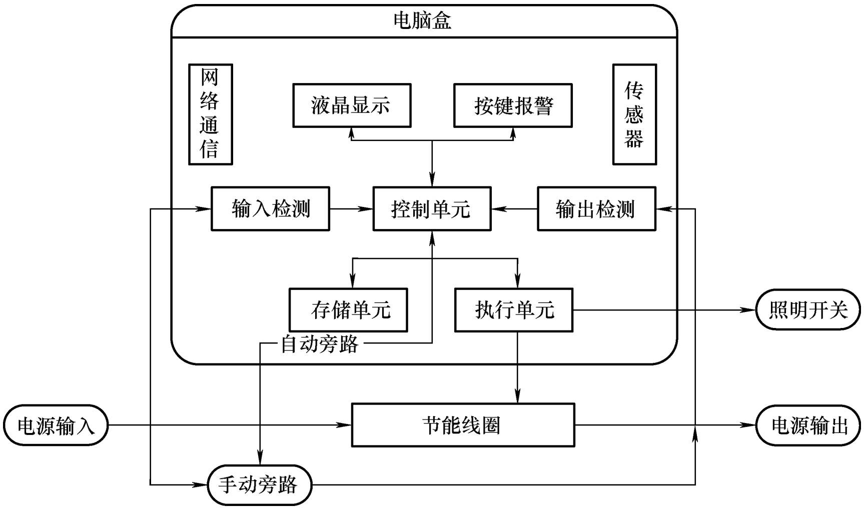


图 3-69 节电控制的工作原理

3）开关控制。电脑盒根据本地或远程设置的时钟参数分时段开关灯和节电，灯具的控制规律可以自由地设定。此项目在原有硬件基础上，增加了光线传感器实现了光感智能控制，智能分段时钟控制和光感智能控制结合使得控制更加灵活。

4）保护控制。实时监测电压、电流、功率等多项电能参数，并具备过电流、过温、过电压、欠电压等故障自动保护措施。当现场发生故障或数据传输阻塞时能主动报警，主动隔离故障自动旁路，保证系统安全可靠运行。必要时可通过手动旁路直接将主回路与控制回路分开，如图 3-70 所示。

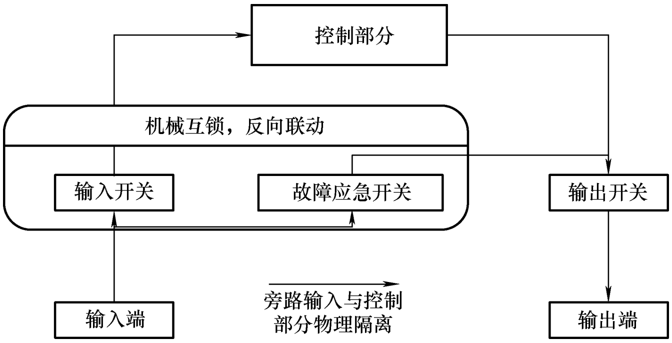


图 3-70 电气保护回路原理图

5）安装方便。节电设备安装调试方便，电工经过简单培训就能掌握安装和使用方法。只需在各配电室内串接在照明线路中，经由线槽与配电柜上端线槽对接即可，如图 3-71 所示。

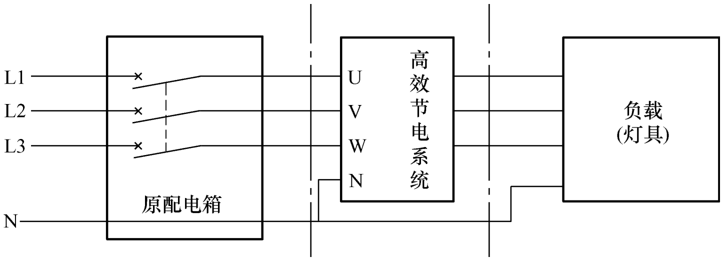


图 3-71 节电设备安装示意

改造后，停车场照明系统实现全智能控制和信息化管理，完全不需要人工手动操作，上、下班高峰时段灯具自动打开，平时灯具处于关闭状态，降低了运行成本又延长了灯具的寿命。

案例68　智能节电器在低压配电中的应用

1. 概述

在民用建筑工程中，低压配电系统主要包括电力和照明两大部分，配电型式主要分为放射式、树干式、放射与树干相结合的混合式以及链式配电，但在智能节电器实际应用中，应根据配电型式和负载类型，合理地选择正确地安装，可直接串联于电源与负载间。

2. 智能节电器的安装方法

一般在低压配电系统中可根据配电干线的实际需求，分别安装1～2级智能节电器配合使用，具体安装应用做法有以下几种：

1）当在变压器低压侧总开关后安装智能节电器时，作为总电源的节电应用，可代替传统的无功功率补偿和消谐装置，但两者不宜同时安装，可任选一种安装。当采用智能节电器时，除应满足无功功率补偿容量的要求外，还要考虑到电源进出接线方便等问题，目前此做法应用比较少，一般多采用传统的做法。

2）单回路放射式的电力配电干线，宜在末端配电箱（柜）总开关后安装智能节电器，作为电力干线的集中节电应用；或在末端配电支路针对某台电动机设备单独安装智能节电器，并可根据实际需求，选择相适应的具有电动机控制保护功能的智能节电器，包括电动机的直接起动、减压起动、软起动、变频起动以及联锁与自动控制等功能在内，都能通过提供具体的要求来实现，从而实现了节电和控制保护的双重功能。

3）单回路放射式的照明配电干线，宜在末端配电箱（柜）总开关后安装智能节电器，作为照明干线的集中节电应用；也可直接选择带有多回路照明出线的智能节电器，使节电和照明支路配电合二为一，减少配电箱（柜）节省安装空间；或针对特殊的末端照明分支干线及支路单独安装智能节电器，以达到较好的节电效果。

4）双回路放射式的电力与照明配电干线，宜在末端双电源自动切换后安装智能节电器，作为电力与照明干线的集中节电应用。对于电力干线或在末端双电源自动切换后的配电支路针对某台电动机设备单独安装智能节电器，也可以选择满足电动机设备节电和控制保护双重功能的智能节电器。对于照明干线也可在末端双电源自动切换后，直接选择带有多回路照明出线的智能节电器，或针对特殊的末端照明分支干线及支路单独安装智能节电器。

5）单回路树干式的电力与照明配电干线，宜在干线首端总开关后安装智能节电器，作为电力与照明干线的集中节电应用，也可在各楼层、各功能分区配电箱（柜）的分支干线总开关后安装智能节电器。对于电力分支干线或在末端配电支路针对某台电动机设备单独安装智能节电器，并可以选择满足电动机设备节电和控制保护双重功能的智能节电器。对于照明分支干线也可直接选择带有多回路照明出线的智能节电器，或针对特殊的末端照明支路单独安装智能节电器。

6）双回路树干式的电力与照明配电干线，宜在各楼层、各功能分区的双电源自动切换后安装智能节电器。对于电力干线或在双电源自动切换后的配电支路针对某台电动机设备单独安装智能节电器，也可以选择满足电动机设备节电和控制保护双重功能的智能节电器。对

于照明干线也可在双电源自动切换后，直接选择带有多回路照明出线的智能节电器，或针对特殊的末端照明支路单独安装智能节电器。

案例 69　智能电源控制系统的设计

1. 概述

目前，办公室电气设备和家庭家用电器越来越多，且随着自动化程度的提高，待机的电器设备也越来越多，电能的浪费也非常严重。下班后，办公室的电脑主机、电脑显示屏、打印机、复印机等处于闲置待命状态，都有一定的电能损耗；用遥控器关闭家用电器后，电视机、DVD、功放等的供电电源并未切断，在其闲置的过程中也存在电能浪费。针对上述现象，开发一种便利的智能电源控制系统就显得十分紧迫。

2. 智能电源控制系统的构建

智能电源控制系统主要由主控端、控制电路和受控端组成，其系统结构框图如图 3-72 所示。

当开关 K 接通后，受控端的负载供电受主控端负载的状态控制。当主控端为工作状态时，则受控端处于供电状态；当主控端处于待机休眠状态（或停止工作状态）时，受控端则处于电源断开状态。这样当下班后或睡觉前，关闭主控负载，随即受控端电源将随之切断。

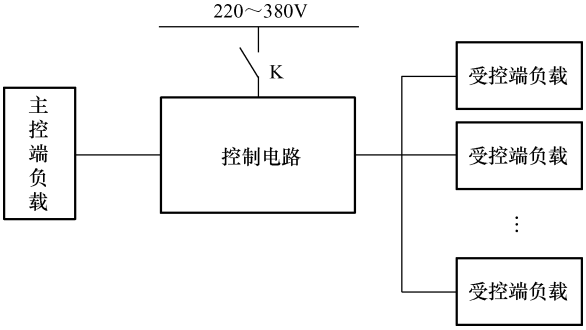
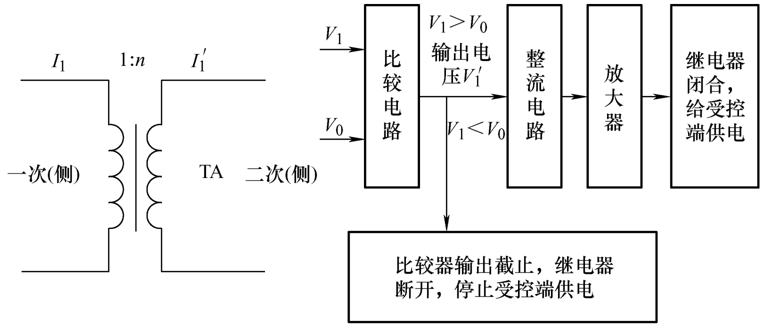


图 3-72　智能电源控制系统结构框图

外部电源经控制电路后直接给主控端供电，控制电路将主控端负载电流 I_1 通过变压器感应，得到感应电流 I_1'，然后通过电阻电路将 I_1' 反映为电压 V_1，并与事先在控制电路中设置的参考电压 V_0 进行比较，判断主控端负载状态，并进行控制动作：当主控端负载电流大于控制系统设置的参考电流时，继电器闭合，受控端负载供电正常；当主控端负载电流小于控制系统设置的参考电流时，比较器输出截止，继电器断开，停止对受控端供电。具体工作原理如图 3-73 所示。



a) 变压器感应电路　　　b) 控制电路方框图

图 3-73　控制电路的设计原理图

I_1—主控端负载电流　I_1'—变压器二次电流　V_0—控制电路中参考电压　V_1—I_1'经过电阻电路后输入比较器电压

案例 70　低压电网的无功补偿节电

1. 概述

在电网的电力负载中，如感应电动机、变压器、电抗器、电焊机等，大部分属于感性负载，在电网运行过程中需向相应的电气设备提供无功功率。低压电网中的无功补偿可降低变压器及线路的损耗，提高功率因数，提高供电效率，显著改善电网的供电环境。在电网中通过选择合适的补偿方法和安装并联电容器等无功补偿设备以后，可补偿感性负载所消耗的无功功率，减少低压电网的损耗，提高电网质量，减少谐波，提高电压稳定性。无功补偿是电力系统运行的重要组成部分，通过对电网中无功电源的配置与合理的无功补偿，不但可以维持电网电压水平，提高电力系统稳定性，而且可以降低线损，为节能低碳做出贡献。无功补偿的作用及其原理见表 3-17。

表 3-17　无功补偿的作用及其原理

作　用	原　　理	公 式 备 注	结　　论
降低线损	$\Delta P_L=\dfrac{3P^2R}{U^2\cos\varphi}\times10^{-3}$	ΔP_L 为线路有功功率损耗，kW；U 为线电压，kV	传输功率 P 一定时，$\cos\varphi$ 越高，ΔP_L 越小
减少压降	$\Delta u=\dfrac{PR+(Q-Q_C)X}{U}$	P 和 Q 分别为线路传送的有功和无功损耗；Q_C 为无功补偿容量，kvar	线路在无功补偿后，电压损失减小
提高利用率	$\cos\varphi=\dfrac{P}{S}=\dfrac{P}{\sqrt{3}UI}$	S 为电源容量	电压与电流一定时，$\cos\varphi$ 越高，输出 P 越大

2. 配电网的无功补偿配置方式

（1）随机补偿方式

在所有消耗无功功率的设备中，异步电动机是消耗最多的。故在大容量电动机上进行无功补偿是十分必要的。随机补偿方式就是把低压电容器与电动机直接连接，并通过控制装置与保护控制使电容器与电机同步投切。可减少电压损失，改善设备启动条件，提升电能质量。接线图如图 3-74 所示。

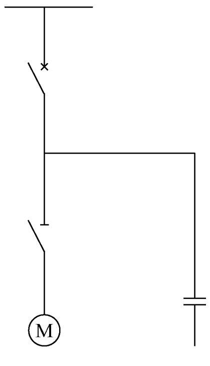


图 3-74　随机补偿接线图

（2）随器补偿方式

变压器空载时的无功损耗是不可忽视的，随器补偿方式就是把低压电容器接在变压器的二次侧来补偿无功。该补偿方式存在成本高、装设地点分散的缺点，但具有接线简单、方便维护、使空载时无功就地平衡、提高变压器利用率的优点。容量在 50kVA 以下的变压器采用固定补偿方式。接线如图 3-75 所示，将一定容量的电容器引线上串联一个三相刀开关 QK 后接在低压配电盘总闸之前，与变压器同投同切，用以补偿变压器的空载无功功率损耗。

（3）变电站集中补偿方式

变电站集中补偿是指将补偿设备集中接在二次汇流母线上的补偿方式，可平衡无功，减

少网损，稳定电压。母线上的无功负载可直接控制电容器的投切。无功补偿容量应根据负载变化情况设计，以尽量减少投切电容器的操作次数。

（4）低压集中补偿方式

在用户侧进行分组，将补偿设备分组装设于配电变压器380V侧、车间配电室等功率因数较低的地方，可提高用户功率因数，做到无功就地平衡，减少配电变压器和配电网的损耗，稳定了用户的电压，有效地保证了用户的电能质量。

（5）配电线路补偿方式

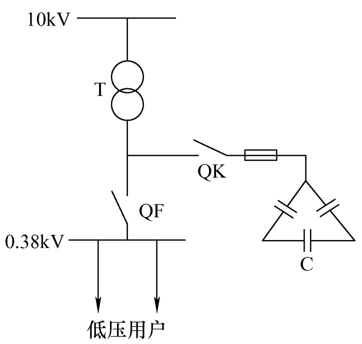


图 3-75　随器补偿接线图

配电线路补偿是指将电容器等补偿设备装设在配电网的线路杆塔上，配置容量一般不大。这种补偿方式需要详细地分析相应的负载情况以确定装设的电容器型号，存在不易配置保护、不易控制、易受环境限制等缺点，具有成本低、回收快、方便管理的优点，比较适合负载重且功率因数低的线路。一般采用固定补偿方式。

案例71　基于超级电容的电梯能量回收系统

1. 概述

电梯上行，轿厢重量小于电梯配重和在电梯下行，轿厢重量大于对重时，曳引机要释放大量再生能量。而给电梯电机供电的整流器电流不可逆，因此造成释放的再生能量堆积在供电母线上，引起电梯母线的电压升高。这升高的电压势必引起电梯器件的损坏。

传统的方法是用大功率电阻把电机产生的再生电能消耗掉，这样做会造成更大的电能浪费。因为大功率电阻在消耗再生能量时，又会释放大量热量，引起电梯机房温度升高，为了不使电梯性能降低，采用空调或风机维持电梯恒温。这样不仅使电梯再生能量白白消耗，还由于使用了空调和风机，引起了第二次的能量浪费。

2. 设计方案

基于超级电容的电梯能量回收系统方案考虑利用这部分被制动电阻消耗的，由传动电机能耗制动产生的能量，用超级电容将其储存起来，当电梯外部正常供电系统故障时，为电梯提供一种安全保障。

本系统总体方案以超级电容器模组为储能装置，组成系统的各个模块由超级电容器模组、电源切换电路、逆变电路及辅助电源部分组成。以电梯正常运行时的再生能量储存起来，在外部供电电源突发失效时，将电梯的供电系统切换到由超级电容器模组提供的备用电源上，保证电梯能安全运行到最近的楼层，人员安全疏散。将超级电容器中直流电通过逆变器转换成交流电，送到电梯系统的外部供电电源入口处，该出口处有两种不同的交流电源，一是外部电网的供电电源，二是由逆变器道变得的备用供电电源，所以这里必须加入一个电源切换装置来控制电梯系统供电电源的切换。系统总体结构图如图3-76所示。

本系统核心部分为蓄能控制电路、超级电容器模组、逆变电路、电源切换电路与嵌入式处理器测控电路。其中蓄能控制电路在电动机处于能耗制动时从变频器直流母线上获取直流电能，完成电能的储蓄；逆变电路则是在嵌入式处理器控制下，将超级电容器模组输出的直流电源转换为三相380V的交流电源；电源切换电路在嵌入式处理器的测控下实现超级电容

备用电源与外部供电电源之间的切换；测控电路监测和控制超级电容器模组的电能储存，当外部供电出现故障时，控制电源的切换，同时向电梯主控制器 PLC 发出紧急处理中断信号。

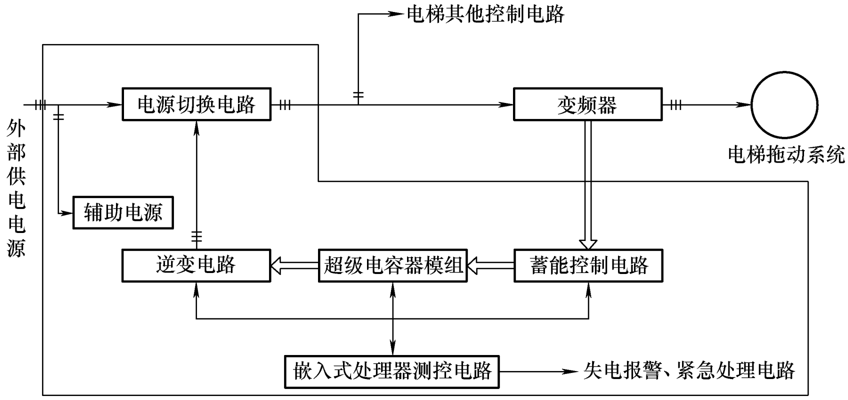


图 3-76　系统总体结构图

从总体方案得知，需要对外部电网的供电电源和备用供电电源快速无扰的切换。考虑到两种电源互不相容的互斥特点，需要交流接触器将两种电源进行互锁，通过互锁可以有效地解决电源竞争问题。电源切换电路如图 3-77 所示。

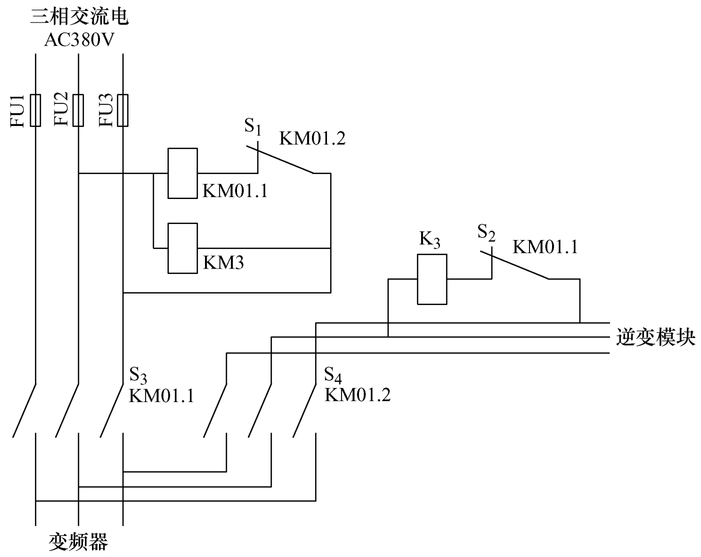


图 3-77　切换电路电路图

案例 72　通信基站“免空调”节能技术的应用

1. 概述

目前移动通信基站电能消耗在公司各类能源消耗中占比例极大，基站电能消耗成为公司

能源消耗的主要部分，据统计，移动通信基站耗电占通信系统总耗电的76%。在基站耗电中：主设备耗电占比为75%～85%，空调耗电占比为15%～31.5%，其他配套（如照明、工程施工等）耗电为1%～3%。

2. 系统硬件设计

基站设备长期工作温度要求最小范围为0～45℃，根据相关内部标准，关于基站机房温度要求为10～35℃，主要是考虑基站蓄电池在超过此规定范围温度运行，容量和寿命将大受影响，容易损坏。因此，如何隔离蓄电池与其他基站设备空调供冷界面成为研制“免空调”节能系统的关键所在。图3-78为“免空调”系统电气控制原理图。

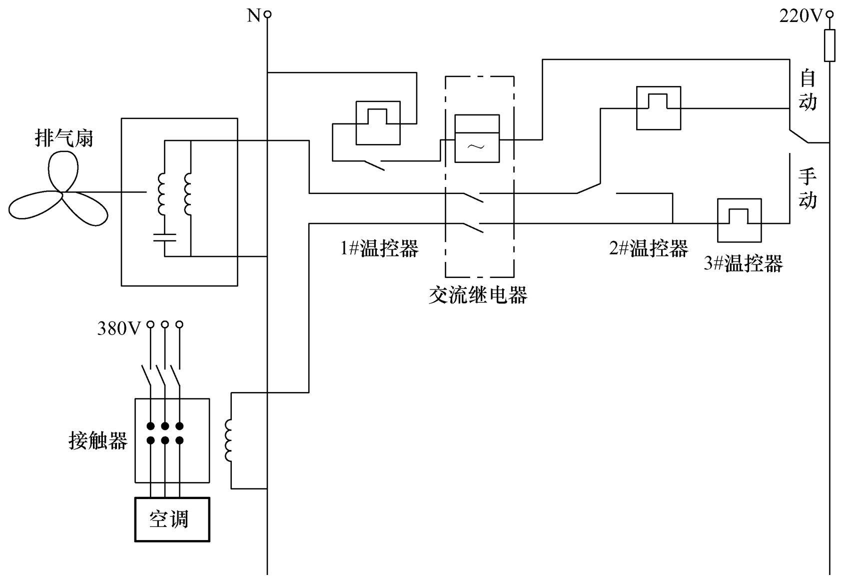


图3-78 “免空调”系统电气控制原理图

从图3-78中可以看出该控制系统具有如下特点：

1）控制系统可以实现自动与手动两种控制模式，手动模式可完全隔离“免空调”系统（即手动模式下，空调不受自动逻辑控制，仅由人工设定），可操作性强。

2）系统拥有三级温控，3#温控器保证手动模式下有效控制空调的运行温度，改变了以往基站空调温度可随意调节，导致机房凝露与能源浪费的情况，达到预防性维护。

3）自动模式下，1#、2#温控器实现通风系统与空调的联动控制，通过节能系统的启闭逻辑关系，控制设备的启停，安全可靠。

表3-18为“免空调”系统在不同温度段控制各个设备运行逻辑关系。

1）当基站温度低于30℃时仅电池保温箱中的小空调工作，基站空调与新风风扇不工作。

2）当基站温度大于30℃小于40℃时，电池保温箱中的小空调与新风扇工作，基站空调不工作。

3）当基站温度大于40℃时，电池保温箱中的小空调与基站空调工作，新风扇不工作。保证基站空调运行时间尽量短，达到节能目的。

表 3-18 “免空调”系统在不同温度段控制各个设备运行逻辑关系

温度区域	各设备运行情况		
	电池恒温箱（26℃～28℃）	排气扇	空调
$T<30$℃	√	×	×
30℃$\leqslant T<40$℃	√	√	×
$T\geqslant 40$℃	√	×	√

案例 73 TD-LTE 通信网络的载频智能节电

1. 概述

中国移动已在全国范围内启动了 TD-LTE 的商用部署工作，将建成全球规模最大的 4G 网络。这些将导致通信行业能源消耗大量增长，而绿色通信的目标就是要降低通信行业的能耗，同时实现经济与社会效益的双赢。运营商的能源消耗主体在接入网部分，包括无线站点和宽/窄带接入站点，移动运营商无线站点能源消耗通常占到整体能耗的 80% 以上，而移动基站的能耗占无线站点能耗的 70% 左右。所以，做好移动基站的节能减排是构建绿色通信的首要任务。

TD-LTE 基站主设备功耗主要有机柜功耗和载频功耗组成：其中机柜功耗主要是由控制板、风扇和合路器等设备构成，占主设备能耗的比重较小；载频功耗主要由基带功耗、射频信号功耗、静态功放功耗和动态功放功耗组成，是主设备能耗的主要组成部分。因此，基站主设备节能可以从载频功耗等方面进行分析。在城区以及密集城区等环境中，因为业务量比较大，单一频点无法有效地承载业务，运营商可能就会同时用多个 LTE 频点来进行覆盖，在保持覆盖的同时，能够支撑更大数据容量的要求。例如，800MHz 或者 1.8GHz 频点作为大覆盖小区，而 2.1GHz 或者 2.6GHz 作为容量增强小区用来吸收热点区域的流量。但数据流量具有明显的潮汐特性，基本是上午 10 点和晚上 8 点会出现峰值忙时，此时的忙时业务量达到最大，而在其他时间（如：0～7 点）业务量就比较低，如图 3-79 所示。

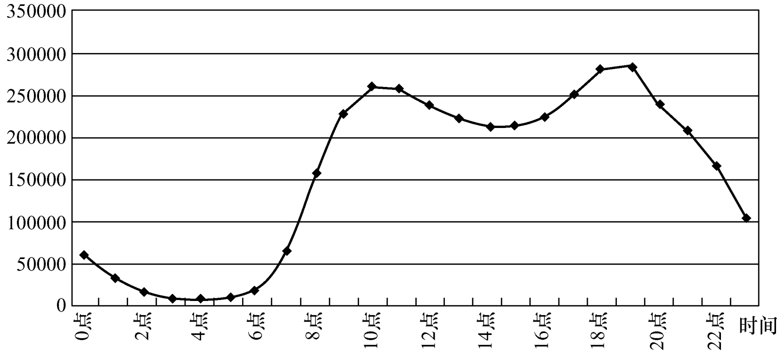


图 3-79 24 小时话务量分析

无线移动网络在做载频配置时一般都要满足忙时业务量的需求，所以在闲时载频的利用率就会很低。在深夜和凌晨的时间段内，业务量会大大降低，这时若同时打开多个载频会导

致很多的不必要的电能消耗。

2. 载频智能关断设计与实践

载波智能关断技术是利用了话务量的这一特性，当某个载频不承载话务量时，可以通过关断此载频的功放来达到节能减排的目的。基站业务量较小时，载频智能关断技术可以把分散在小区内各个载频的零散的业务集中到某一个载频上去，这样空闲的载频就会被关闭，进入休眠状态，从而达到了节能减耗的目的。

（1）载频智能关断的限制条件

符合载频智能上下电的基站小区必须满足以下 3 个条件。如果满足则可以进行载频智能关断并且获得节能降耗的作用，反之，不仅不能降低能耗还会降低网络性能。

1）不同时段业务量反差较大。这样，可以通过时段控制，设置小区的智能载频关断时段，在一定时段内打开智能载频关断功能。

2）业务量门限。可以设置业务高、低 2 个门限值。当业务下降到低于低门限值时启动智能载频关断功能；当业务量上升到高于高门限值时停止智能载频关断。高门限值和低门限值之间为保护段，避免频繁启动和停止智能载频关断的操作。

3）双载频以上配置。小区配置必须至少为二载频及以上，这样当关断载频上所有业务时，则通知业务将当前载频上的业务迁移到其他高优先级的载频上。

（2）载频智能关断的实现

在载频智能关断的控制上，可以从时间和业务量 2 个维度上进行控制：在时间上可以设置载频智能关断的时间，比如每天的 0～7 点开启此功能；在话务量上，当某个小区的信道占用数低于某一个值时，选择一个空闲载频进行关断，当某个小区的信道占用数高于某一个值时，可以开启一个关断的载频。载频智能关断功能主要是通过软件来实现，通过软件判断系统业务忙闲情况。同时，设置一些参数的组合，自动关闭一些满足条件的载频，将业务集中到未关闭的载频上，将需关闭的载频上进行的业务转移到不关闭的载频上，一旦转移完成，该载频就可以被关闭，如图 3-80 所示。

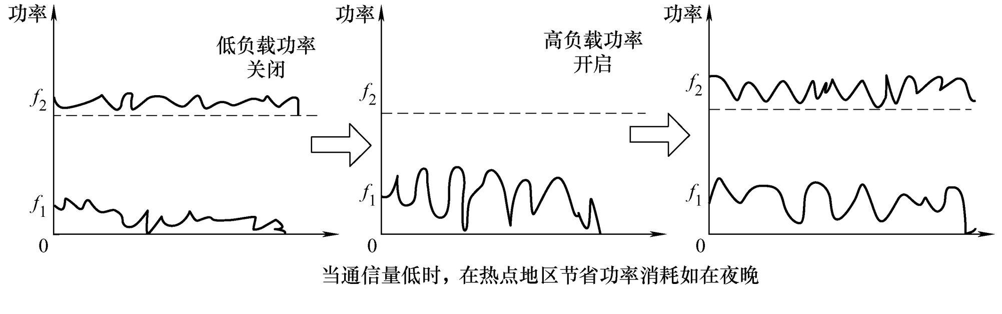


图 3-80 载波智能关断过程

运营商可以选择可以关闭的容量增强小区，仅保留大覆盖小区，以维持原有的 LTE 数据覆盖和基本流量的要求。同时基站会实时统计当前载频下的业务流量，当数据流量增大到预设门限时，或者白天来临的时候，智能唤醒容量增强小区进行分流来满足大数据量的要求。图 3-81 中，eNodeB 1 为容量增强小区，在夜间低业务时，当其检测到本身业务非常低时，通过 X2 口的基站配置更新消息通知大覆盖的 eNodeB 2，告知 eNodeB 1 即将进行小区关

断用于节省功耗。eNodeB 2 检测自身业务量也较低时，回复 eNodeB 1 可以进行关断。图 3-82 中，当大覆盖的 eNodeB 2 检测到自身业务量较大时，则通过 X2 口的小区激活请求消息来通知 eNodeB 1 重新激活关断小区，以满足此区域的大业务量需求。

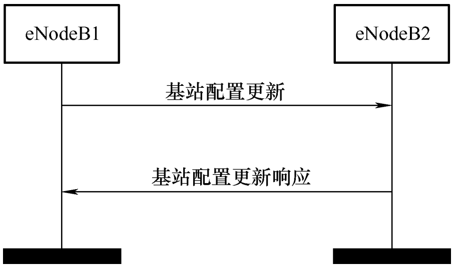


图 3-81　智能小区关断流程

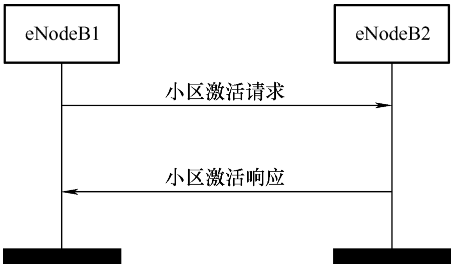


图 3-82　智能小区重激活流程

第 4 章 工厂节电案例

导读

从我国电能消耗的情况来看，70%以上消耗在工业部门，所以工厂节电是节约能源的一个重点。节约电能，不只是减少了工厂的电费开支，降低了工业产品的生产成本，还可以为国家积累更多的资金。要搞好工厂的节电工作，必须大力提高工厂供用电水平，这就需要从工厂供用电系统的科学管理和技术改造两方面采取措施。前者如加强能源管理，建立和健全管理机构的制度，不少工厂的实践说明，实行能耗的额定管理和节能奖励制度，对开展工厂的节能工作有巨大的推动作用；后者则是本章叙述的重点，不仅要逐步更新淘汰现有低效率的供用电设备，选用变频器等高效节电设备，同时也要对现有设备进行技术改造，包括从电气部分，也要从工艺部分、机械部分出发，即使一个小小的时间继电器的应用也能改变某些设备的电能消耗情况。本章通过55个案例主要介绍了在工厂电气设备改造中的节电方法和节电产品选用情况。

案例 74　注塑机的节电

1. 概述

注塑机又名注射成型机或注射机，它是将热塑性塑料或热固性料利用塑料成型模具制成各种形状的塑料制品的主要成型设备。注塑机分为立式、卧式、全电式等，能加热塑料，对熔融塑料施加高压，使其射出而充满模具型腔。图 4-1 所示为注塑机外观。

图 4-1　注塑机外观

注塑机的构造如图 4-2 所示，其工作循环具体如下：

1）锁合模：模板快速接近定模板（包括慢-快-慢速），且确认无异物存在下，系统转为高压，将模板锁合（保持液压缸内压力）；

2）射台前移到位：射台前进到指定位置（喷嘴与模具紧贴）；

3）注塑：可设定螺杆以多段速度、压力和行程，将料筒前端的熔料注入模腔；

4）冷却和保压：按设定多种压力和时间段，保持料筒的压力，同时模腔冷却成型；

5）冷却和预塑：模腔内制品继续冷却，同时驱动螺杆旋转将塑料粒子前推，螺杆在设定的背压控制下后退，当螺杆后退到预定位置，螺杆停止旋转，注射液压缸按设定松退，预料结束；

6）射台后退：预塑结束后，射台后退到指定位置；

7）开模：模板后退到原位；

8）顶出：顶针顶出制品。

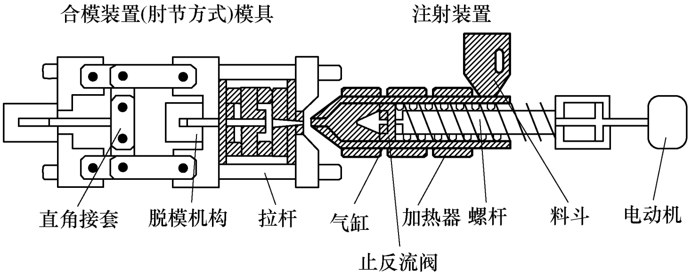


图 4-2　注塑机的构造

2. 注塑机耗电原因分析

注塑机最重要的是液压系统，即电动机带动液压泵从油箱吸油并加压输出，经各种控制阀控制油的压力、流量和方向，以保证工作机构以一定的力（或扭矩）和一定的速度按所要求的方向运动，从而实现注塑的各过程。因此，常规注塑机的耗能所在就是定量泵注塑机油泵速度不可调，多余的油经溢流排入油箱。

传统定量泵注塑机通常在需要改变负载流量和压力时，用阀门调节，这时输入功率变化不大，大量能量以压力差的形式损耗在阀门上，产生溢流。图 4-3 所示为传统定量泵注塑机

液压示意。

根据注塑机的工艺过程，画出系统油压 P 与时间 t 的关系图如图 4-4 所示。

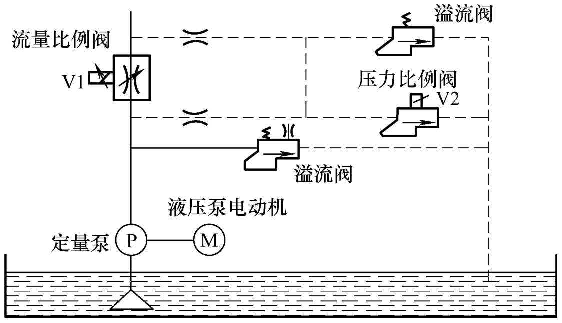


图 4-3 传统定量泵注塑机液压示意

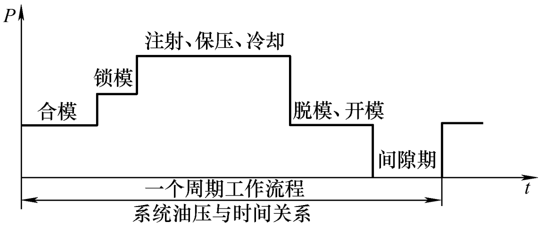


图 4-4 系统油压 P 与时间 t 的关系

由图 4-4 可见，合模、脱模、开模系统所需液压较低，且时间较短；而注射、保压、冷却系统所需液压较高，且时间较长，一般为一个工作周期的 40% ~60%，时间的长短与加工工件有关；间歇期更短，这也与加工工件的情况有关，有时可以不要间歇期。

3. 注塑机节能方法

从图 4-4 可见，一个周期工作流程中，负载的变化导致系统压力变化比较大，但液压泵仍在 50Hz 运行，其供油量是恒定不变的，多余的液压油经溢流阀流回油箱，做无用功，白白地浪费了电能。

由图 4-5 所示，对液压泵进行变频或伺服控制，将定量泵改变为类似变量泵的特性。系统所需压力较高时，液压泵电动机 50Hz 运行，所需压力较小时，变频器或伺服降频运行。电动机输出的轴功率与液压泵的出口压力和流量的乘积正比，液压泵电动机转速降低后，输出轴功率降低，就可以达到有效节能，一般节电率在 20% ~50%。

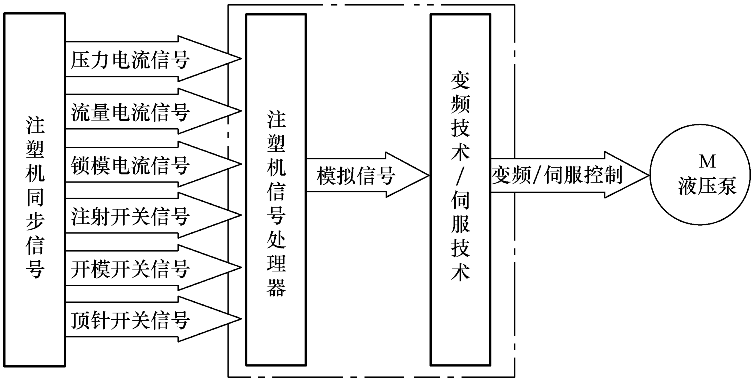


图 4-5 注塑机节能改造思路

案例 75 塑料挤出机的节电

1. 概述

塑料挤出机也属于塑料机械的种类之一。挤塑机依据机头料流方向以及螺杆中心线的夹

角，可以将机头分成直角机头和斜角机头等。机头的外壳一般是用螺栓使其固定于机身之上，机头里面的模含有模心坐，然后用螺母将其固定于机头的进线端口，模心座的内部也装有模心，而且模心和模心座的中心都有孔，其作用用于通过芯线。依据加压方式种类的不同，使得挤出工艺可以分成连续挤出和间歇挤出两种。前者所用的设备为螺杆式挤出机，后者的设备为柱塞式挤出机。在此螺杆式挤出机又可以凭借螺杆个数大致分类为单螺杆挤出机以及多螺杆挤出机。图 4-6 所示为塑料挤出机的外观。

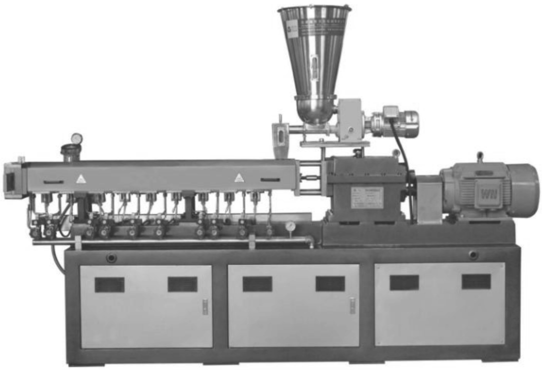


图 4-6　塑料挤出机外观

以螺杆式挤出机为例，其工作机理是依靠螺杆旋转产生所需的压力及剪切力，能使得物料可以充分进行塑化以及均匀混合，最后成型。有时使用一台挤出机就能够同时完成混合、塑化以及成型等一系列工艺，从而进行连续的生产。

2. 塑料挤出机的传动耗能

塑料挤出机的传动部分通常由电动机、减速箱和轴承等组成。在挤出的过程中，螺杆转速必须稳定，不能随着螺杆负载的变化而变化，这样才能保持所得制品的质量均匀一致。但是在不同的场合下又要要求螺杆可以变速，以达到一台设备可以挤出不同塑料或不同制品的要求。

由于挤出机螺杆驱动功率的影响因素很多，而且很难找出函数关系，因此至今都没有精确有效的确定挤出机驱动功率的计算方法。

在实际应用中一般都采用经验公式的方法来进行驱动功率的计算：

$$P = KD_b^2 n \tag{4-1}$$

式中　P——功率（kW）；

K——经验系数，根据不同的产品有不同的数值列表；

D_b——螺杆直径（cm）；

n——螺杆转速（r/min）。

传动系统的作用是驱动螺杆，供给螺杆在挤出过程中所需要的力矩和转速。而在结构基本相同的前提下，减速机的制造成本大致与其外形尺寸及重量成正比。因为减速机的外形和重量重，意味着制造时消耗的材料多，另所使用的轴承也比较大，使制造成本增加。

一般说来，在挤出机中，圆柱齿轮减速机的传动效率在 85% ~95% 之间，传动带轮系的传动效率在 70% ~80% 之间。如果一台传统的挤出机使用了一对传动带轮及一个减速机进行传动，那总的传动效率最高可能达到 75% 左右，也可能低至 60% 。也就是说，传统的挤出机电动机所产生的能量，在传动环节就有 40% ~25% 变成热量散失到空气中，这样浪费的能源是非常巨大的。

3. 塑料挤出机的节电方法

一种全新种类的挤出机电动机正脱颖而出：环形、高转矩、永磁性的同步电动机（见图 4-7）。永磁同步电动机比其他形式的电动机多出 10 倍以上磁极对。这是它们为什么能在

低速（20～500r/min）下能产生高扭矩（2000～11 000Nm）的原因。在这个速度范围下，电动机可以不通过减速箱而直接与挤出机的推力轴承进行连接。这样电能所产生的扭矩直接传递到螺杆上，几乎完全没有传动环节，也就避免了传动过程中的能量损耗。

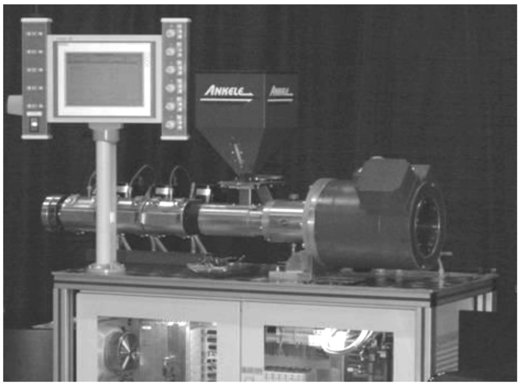


图 4-7　同步电动机驱动的塑料挤出机

案例 76　全电动注塑机的选用

1. 全电动注塑机的技术特点

电动注塑机的动力系统采用了全电动驱动、PLC、变频和伺服控制技术，在实现高精密控制和大幅度节能的同时，避免了液压注塑机常有的噪声、发热和油液泄漏现象。

图 4-8 所示为全电动注塑机的外观。

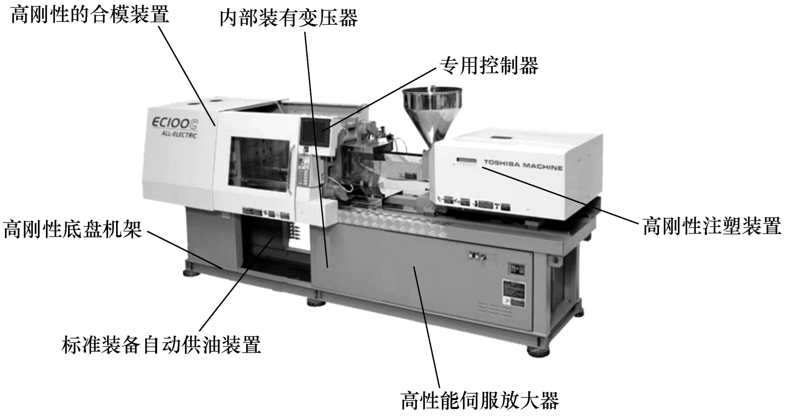


图 4-8　全电动注塑机的外观

电动注塑机在注塑构造上，采用了螺杆柱塞混合式结构和 PID 温度控制方式，有效保证了塑化和计量的稳定性，从通用树脂至工程塑料，都能够进行高质量的注塑成型，适合于微电子产品、通信、电器、仪器、仪表、自动化器件、钟表、玩具及医疗器材等各个领域的微小型精密注塑件的生产。

目前全电动注塑机主要以单螺杆注射系统为主，使用高性能的滚珠丝杆副。这种滚珠丝杆副能承受高载荷、短行程反复运动，使全电动注塑机的性能得到很大提高。但是滚珠丝杆

等关键部件的价格昂贵，在成本方面不占优势。

因此，有的生产厂商用多螺杆注射结构代替单螺杆注射结构，采用性能相对较差的多根螺杆代替价格较高的高质量螺杆，以降低注射系统对滚珠丝杆的性能要求。全电动注塑机采用的注射结构由定板、动板、料筒、滚珠丝杆、同步带和电动机等组成。单螺杆驱动结构和多螺杆驱动结构如图 4-9 所示。

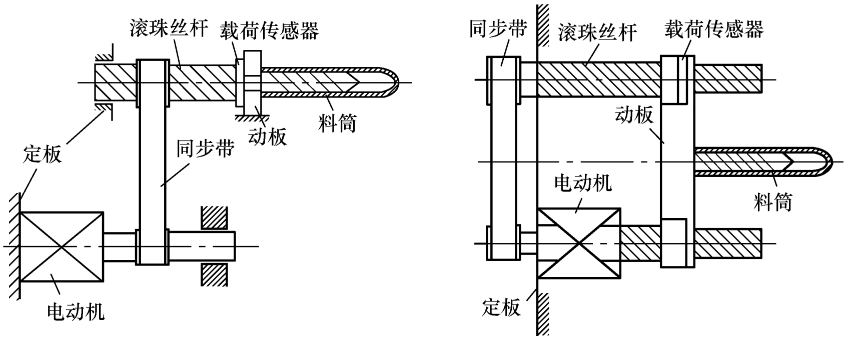


图 4-9　全电动驱动结构

2. 全电动注塑机性能优势与劣势

（1）性能优势

1）注射性能稳定：液压注塑机的各项动态技术参数受到油压、油温变化的影响而容易发生波动，相比之下，电动注塑机的各项动态技术参数基本上不受外界因素的干扰，所以注射性能稳定。

2）高性能节能：高性能的节能是电动注塑机最大的优势。电动注塑机的节能是在高速应答反映的注射工况条件下的节能，不影响生产效率，能量利用率达到 95% 以上，比液压注塑机节能 25% ~60% 。

3）节水：电动注塑机不使用液压油，冷却水仅用于加料口，与采用负载敏感泵的液压注塑机相比，冷却水用量可减少 70% ，与采用定量泵的液压注塑机相比，冷却水用量可减少 90% 。

4）效率高：一般电动注塑机的成型周期仅为液压注塑机的 1 /3。由于各个执行机构都有独立的伺服电动机驱动，所以电动注塑机能进行复合动作。

5）优化工作环境：电动注塑机不使用液压油，工作环境更易保持清洁，且噪声低于液压注塑机 10dB 以上。

（2）性能劣势

主要是规格不齐全，尤其是高锁模力机型缺乏。

案例 77　交流电焊机的节电

1. 概述

交流电焊机实质上是一种特殊的降压变压器。在建筑、冶金、机械制造等行业应用最为广泛，主要用于钢铁材料的焊接。图 4-10 所示为交流电焊机的外观。

图 4-10　交流电焊机外观

图 4-11 所示为交流电焊机的工作原理，它是由降压变压器、阻抗调节器、手柄和焊接电弧等组成。在线圈的两端是被焊接工件和焊条，引燃电弧，在电弧的高温中将工件的缝隙和焊条熔接。

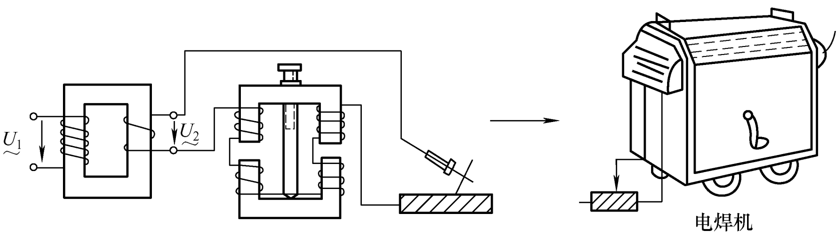


图 4-11　交流电焊机工作原理

2. 交流电焊机的能耗

绝大多数的电焊机，是非连续性工作的。所以，交流电焊机是在有电弧时产生铜损和铁损，也就是说在无电弧时只产生空载损耗（主要是铁损），该交替使用情况如图 4-12 所示。

当电弧时间 t_a 与间歇时间 t_b 在一定周期 $T_0 = t_a + t_b$ 中有规律的交替时，可由公式进行负载持续率的定义：

$$负载持续率 = \frac{t_a}{T_0} \tag{4-2}$$

负载持续率的值，由电焊机设计制造时确定的工作情况所决定。常见的交流电焊机的负载持续率有 40% 和 60% 两种。当在间歇运行时，交流电焊机空载运行时的有功损耗和无功损耗约为电焊机铭牌容量的 10% 左右，因此设法减少电焊机的空载运行，就可以达到节电目的。

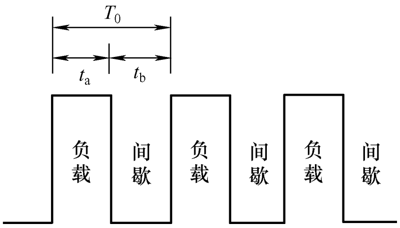


图 4-12　电焊机的使用状态

3. 交流电焊机的节电方法

交流电焊机的节电方法，最直接的就是采用空载自停装置。它一般以接触器作为主控元件，采用电容降压方式，在变压器二次绕组上获得感应信号，作为控制主元件的条件，使自停装置能自动接通和切断变压器电源，起到断路器的作用。

自停装置自动闭合，便可焊接；当焊条离开工件时，自停装置又延时断开，限制变压器空载运行，降低变压器空载损耗。延时断开的目的是为了防止短时停烛时此起自停装置频繁动作，增加变压器冲击电流次数，并保证不影响换接焊条且满足断续焊接工作的需要。根据感应信号的不同，空载自停装置分为两种：电流型和电压型。

（1）电流型空载自停装置

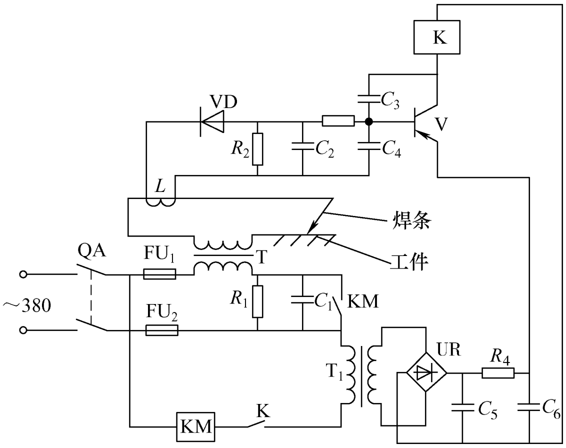


图 4-13　电流型空载自停控制电路

图 4-13 为电流型交流电焊机空载自停控制电路，图中 T 为焊接变压器，在 T 的二次绕组电路中装入电源互感器 L，以获得电

流感应信号，感应信号经二极管VD整流，供给延时电路，延时电路由晶体管V、电容C_3、C_4组成。再控制小型直流继电器K，K的常开触头控制交流接触器KM的线圈，KM决定电焊机是否接通电源。控制部分的直流电源由变压器T_1及整流桥UR、滤波电路等组成。

其工作过程是这样的：先合上开关QA，交流接触器KM不得电，其常开触头断开，焊接变压器T的一次绕组经电容C_1接至电源。由于电容的降压作用，T的一次绕组内会流过很小的空载电流，T二次绕组两端的感应电压约40V。当焊条接触工件焊接时，电流互感器L二次侧将感应1～3V的电压，整流后加到晶体管V的基极，V导通，小型继电器K吸合，交流接触器KM线圈得电，其常开触头闭合，使焊接变压器T的一次绕组直接接到380V电源上，焊机正常工作。当焊条脱离工件时，L二次侧无感应电压，但由于C_3、C_4电容的放电作用，晶体管V仍然保持导通，如在延时时间内重新焊接，则K，KM均不断电，焊机照常工作。如停焊时间超过了整定的延时时间，则C_3、C_4放电结束，晶体管V截止，K、KM线圈断电，其延时触头断开，焊接变压器T断电，起到空载自动停止的作用。

（2）电压空载自停装置（见图4-14，原理不再赘述）。

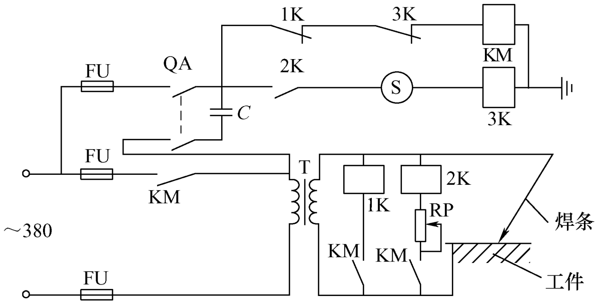


图4-14　电压空载自停控制电路

案例78　节电型逆变电焊机的选用

1. 概述

逆变与整流是两个相反的概念，整流是把交流电变换为直流电的过程，而逆变则是把直流电改变为交流电的过程，采用逆变技术的弧焊电源称为逆变电焊机。逆变过程需要大功率电子开关器件，采用绝缘栅双极晶体管IGBT作为开关器件的逆变电焊机称为IGBT逆变电焊机（见图4-15）。

逆变电焊机由逆变电源与外接设备组成，逆变电源是逆变电焊机的主要设备，其工作过程为

工频交流→直流→高频交流→变压→直流

逆变电焊机的工作过程，是将三相或单相50Hz工频交流电整流、滤波后得到一个较平滑的直流电，由IGBT或场效应晶体管组成的逆变电路将该直流电变为15～100kHz的交流电，经中频主变压器降压后，再次整流滤波获得平稳的直流输出焊接电流（或再次逆变输出所需频率的交流电）。逆变电焊机的控制电路由给定电路和驱动电路等组成，通过对电压、电流信号的回馈进行

图4-15　逆变电焊机的外观

处理，实现整机循环控制，采用脉宽调制 PWM 为核心的控制技术，从而获得快速脉宽调制的恒流特性和优异的焊割工艺效果。其工作原理如图 4-16 所示。

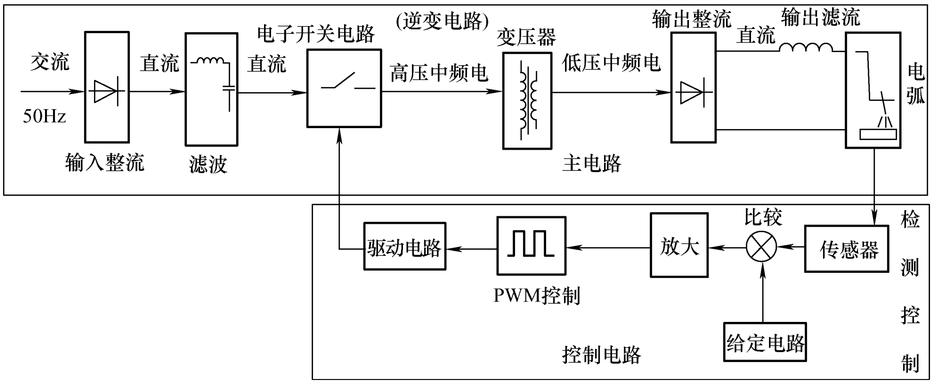


图 4-16　逆变电焊机的工作原理

图 4-17 所示为某逆变电焊机的操作面板。当焊机接通三相电源后，面板上绿色电源指示灯应亮，‘电流显示/电压显示’开关置于“电压显示”位，电压表指示应在 80V 左右，表示焊机已进入运行状态。

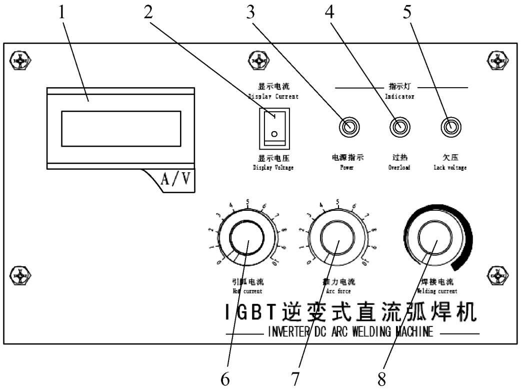


图 4-17　某逆变电焊机的操作面板

1—数字显示器　2—电流/电压显示切换开关　3—电源指示灯　4—过热指示灯
5—欠电压指示灯　6—引弧电流调节旋钮　7—推力电流调节旋钮　8—焊接电流调节旋钮

2. 逆变电焊机的节电情况

以工业生产中常用的 400A 手工焊机进行比较，传统交流焊机与逆变电焊机的具体数据见表 4-1，其中传统交流电焊机为某品牌 BX1-400 型，逆变焊机某品牌 ZX7-400 型。

表 4-1　逆变点焊接与传统交流电焊机的对比

对 比 项 目	传统交流电焊机	逆变电焊机	对 比 结 果
额定输入功率/kW	22.432	10.953	额定输入功率少 51%
空载损耗/W	3230	228	减少损耗 93%
效率（%）	65.39	84.53	效率提高 29%

（续）

对 比 项 目	传统交流电焊机	逆变电焊机	对 比 结 果
功率因数（cosφ）	0.722	0.915	功率因数提高27%
年耗电量/kW·h	28912	13059	节电55%
外形尺寸/mm	610×410×532	480×230×390	体积约为1/3
铜线长度/m	263.7	8.2	长度约为1/32
铜线重量/kg	41.7	1.027	重量约为1/40
主变压器重量/kg	65	2.065	重量约为1/31
机器总重量/kg	75	20	重量约为1/4
主要材料	铜、钢等金属材料占整机成本90%以上	电子元器件占整机成本约50%	每台节约铜41kg、钢25kg

注：年耗电量按每年工作245天，每天工作8h（负载持续率60%，负载4.8h，空载3.2h）计算；电费按0.79元/（kW·h）计算。

案例79　螺杆空压机的变频节电改造

1. 概述

图4-18所示的螺杆空压机广泛地用于工业生产中。以单螺杆空压机为例说明空气压缩机工作原理，图4-19所示为单螺杆空气压缩机的结构原理图。螺杆式空气压缩机的工作过程分为吸气、密封及输送、压缩、排气四个过程。当螺杆在壳体内转动时，螺杆与壳体的齿沟相互啮合，空气由进气口吸入，同时也吸入机油，由于齿沟啮合面转动将吸入的油气密封并向排气口输送；在输送过程中齿沟啮合间隙逐渐变小，油气受到压缩；当齿沟啮合面旋转至壳体排气口时，较高压力的油气混合气体排出机体。

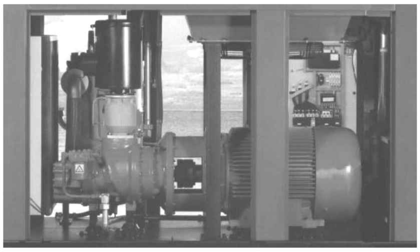


图4-18　螺杆空压机的外观

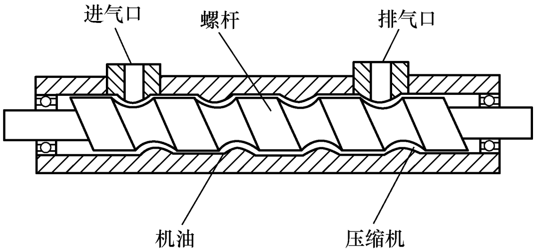


图4-19　单螺杆空压机结构原理

工厂空气压缩气供气系统一般由空气压缩机、冷干机、过滤器、储气罐、管路、阀门和用气设备组成。图4-20所示为压缩气供气系统组成示意图。

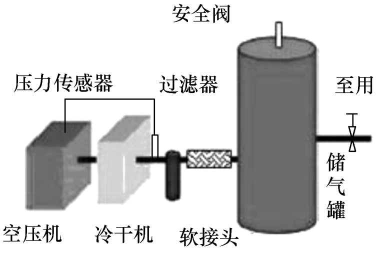


图4-20　压缩气供气系统

在工厂的空气压缩机控制系统中，普遍采用后端管道上安装的压力继电器来控制空气压缩机的运行。空压机起动时，加载阀处于不工作态，加载气缸不动作，空压机头进气口关闭，电动机空载起动。当空气压缩机起动运行后，如果后端设备用气量较大，储气罐和后端管路中压缩

气压力未达到压力上限值，则控制器动作加载阀，打开进气口，电动机负载运行，不断地向后端管路产生压缩气。如果后端用气设备停止用气，后端管路和储气罐中压缩气压力渐渐升高，当达到压力上限设定值时，压力控制器发出卸载信号，加载阀停止工作，进气口关闭，电动机空载运行。

2. 空压机的变频改造

空压机电动机功率一般较大，起动方式多采用空载（卸载）星-三角起动，加载和卸载方式都为瞬时。这使得空压机在起动时会有较大的起动电流，加载和卸载时对设备机械冲击较大；不光引起电源电压波动，也会使压缩气源产生较大的波动；同时这种运行方式还会加速设备的磨损，降低设备的使用年限。对空压机进行变频改造，能够使电动机实现软起软停，减小起动冲击，延长设备使用年限；同时由于电动机运行频率可变，实现了空压机根据用气量的大小自动调节电动机转速，减少了电动机频繁的加载和卸载，使得供气系统气压维持恒定，在一定程度上节约了电能。

改造方法：改造螺杆空压机的变频器是在螺杆机电控系统的基础上，用变频系统替代原有的起动、运行控制系统，同时保留原系统，使两套系统互为备用，增加系统运行的可靠性。改造时需增加工、变频转换功能。在系统运行前，将主回路和控制回路各转换开关切换至相应的变频和工频位置上。

具体电气接法为，主回路增加三个三刀双掷开关 QS1、QS2、（QS3 仅 JR 电动机适用）作为主回路的切换装置，三相电源、定子绕组、（JR 型电动机转子绕组）分别接至相应开关刀位置。如图 4-21 所示空压机主回路变频、工频切换原理图。图中所有开关切换至变频位置时，三相电源经双掷开关 QS1、断路器 QA 接至变频器输入端子（R、S、T），变频器输出端子（U、V、W）经双掷开关 QS2 接至原Y-△输入端。所有开关切换至工频位置时，三相电源经 QS1、QS2 接Y-△输入端。

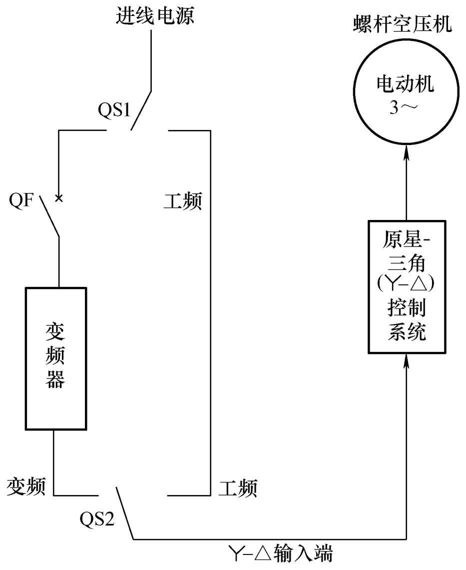


图 4-21　空压机变频改造电路

案例 80　空压机余热回收系统的选用

1. 背景概述

螺杆空气压缩机长期连续的运行过程中把电能转换为机械能，又将机械能转换为风能，在机械能转换为风能过程中，空气得到强烈的高压压缩，使之温度骤升，这是普通物理学机械能量转换现象，空压机螺杆的高速旋转产生的高温热量，同时也摩擦发热，这些产生的高热由空气压缩机润滑油的加入混合成油/气排出，这部分高温油/气流的热量相当于空压机输入功率的 3/4，它的温度通常在 80℃（冬季）到 100℃（夏秋季）之间，这些热能都由于机器运行温度的要求，都被无端地废弃排往大气中，即空压机的散热系统来完成机器运行的温度要求。

为了充分回收空压机所产生的余热，减少废气污染保护环境，使企业降低能耗，减少企

业运营成本，可以采用图 4-22 所示的余热回收系统对空压机所产生的高温高压的油/气进行冷却，不仅可以提高空压机的产气效率，而且可使企业获得生产和生活所需的热水，冬天可加热到 55℃以上，夏秋 65℃以上。从而使企业一次投资变废为宝，科学利用能源，节省高额的生活生产热水运行费用。

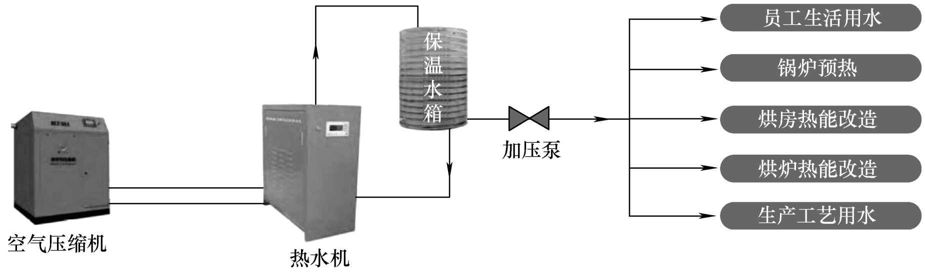


图 4-22　空压机余热回收系统

2. 空压机余热回收的技术效果

空压机余热回收的热泵设计参数如下：

设计运行耐压：油/气侧：10.0kg/cm^2；水侧：22.0kg/cm^2

设计试验压力：油/气侧：20.0kg/cm^2；水侧：33.0kg/cm^2

设计耐热温度：油/气侧：120℃；水侧：100℃

设计水温热度：冬季≥55℃；夏季≥65℃

表 4-2 所示为空压机热泵的技术参数和空压机热泵的热水产量对应情况。

表 4-2　空压机热泵的热水产量

空压机功率	热泵集热量	油气流量	水流量	入水温度	出水温度	循环出水温度	开机 8h 产热水
kW/hP	kcal/h	L/min	L/h	℃	℃	℃	L/人数
15/20	15000	40	500	22	42～45	55～65	4000/100～300
22/30	22000	58	700	22	42～45	55～65	5600/150～400
30/40	30000	80	800	22	42～45	55～65	6400/160～450
37/50	37000	98	1000	22	42～46	55～68	8000/200～600
45/60	45000	120	1300	22	42～46	55～68	10400/260～750
55/75	55000	146	1600	22	42～50	55～70	12800/320～900
75/100	75000	200	2500	22	42～50	55～70	20000/500～1200

案例 81　变频螺杆空压机的选用

1. 概述

变频螺杆空压机压缩机的排气量可以和用户的用气量完美地结合起来，完全避免了卸载功率的损耗；在间断性用气的状态下，通过软起动的零负载作用，避免了电流和扭矩的峰值，因而机组可以无限次的起停。

2. 某型变频螺杆空压机的选用

某型变频螺杆空压机的布置图如图 4-23 所示。

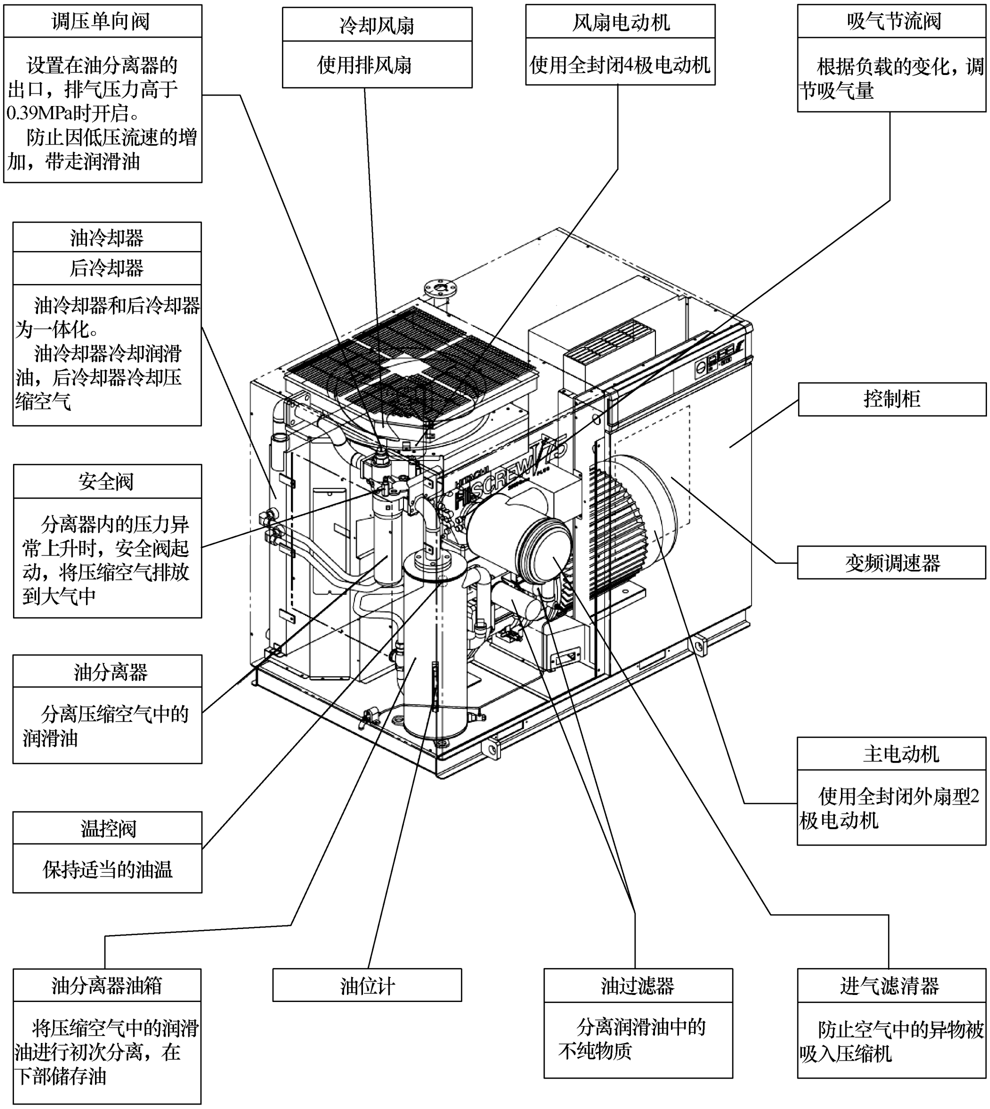


图 4-23　某型变频螺杆空压机的布置图

变频螺杆空压机的控制方式主要有 PID 方式和 ON/OFF 方式两种。在正常用气量时，该款空压机控制柜的集成线路板根据压力信号，进行转速的 PID 演算，并将数据发送给变频调速器。变频调速器根据演算数据向电动机发出运行频率的指令。此时的吸气节流阀为完全打开状态，根据电动机的加速/ 减速，压缩机进行排气的恒压运行，如图 4-24 所示。

当空气使用量降至 30% 时，转速达到最低运行频率（如 19Hz）。空气使用量进一步下降时，压力上升到 ON/OFF 式开始压力（控制压力 + ON/OFF 式开始压差），放气电磁阀启动，吸气节流阀关闭，将油箱内的压缩空气排向大气，如图 4-25 所示。ON/OFF 式控制时，为防止电动机温度的上升和压缩机效率降低，同时为使耗电量控制在最小，压缩机维持最低转速的运行。压力降至控制压力时，放气电磁阀再次启动，吸气节流阀完全打开，返回到

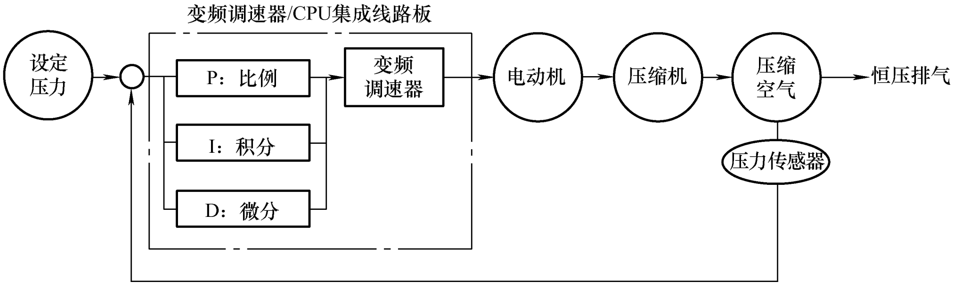


图 4-24　PID 控制方式

PID 式运行（负载运行）。

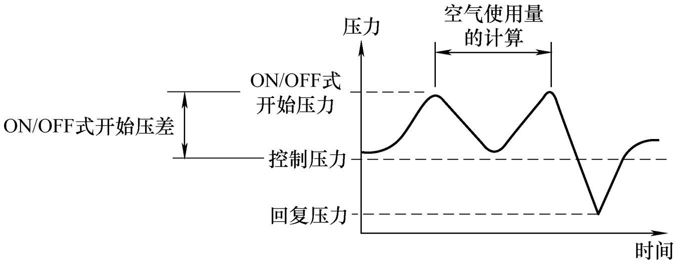


图 4-25　ON/OFF 控制方式

空气使用量降至 3% 或 ON/OFF 式运行持续 3min 时，电动机停机。为保护电动机，电动机的停机次数被限制在 1 次/10min。压力降至回复压力时，电动机重新起动，返回到 PID 式运行，如图 4-26 所示。

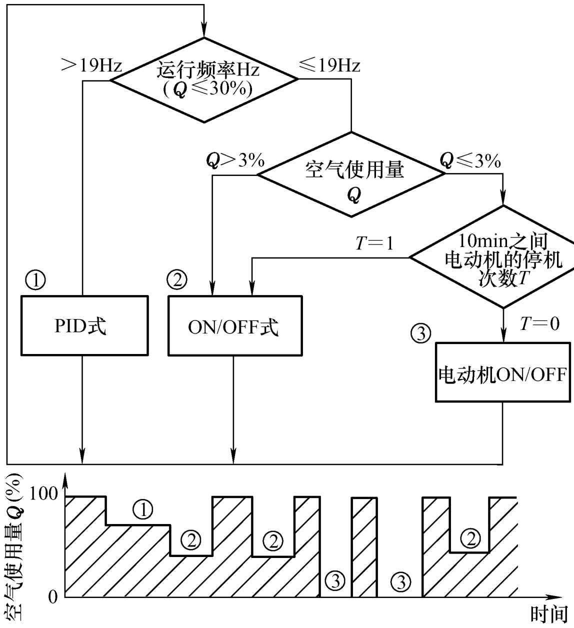


图 4-26　变频螺杆空压机的控制方式

案例 82　活塞式空压机的变频改造

1. 概述

由图 4-27 所示，活塞式空压机在气缸内作往复运动的活塞向右移动时，气缸内活塞左腔的压力低于大气压力，进气阀开启，外界空气吸入缸内，这个过程称为压缩过程。当缸内压力高于输出空气管道内压力后，排气阀打开。活塞的往复运动是由电动机带动的曲轴滑块机构形成的。曲轴的旋转运动转换为滑动-活塞的往复运动。这种结构的压缩机在排气过程结束时总有剩余容积存在。在下一次吸气时，剩余容积内的压缩空气会膨胀，从而减少了吸入的空气量，降低了效率、增加了压缩功。结构简单、使用寿命长，并且容易实现大容量和高压输出。

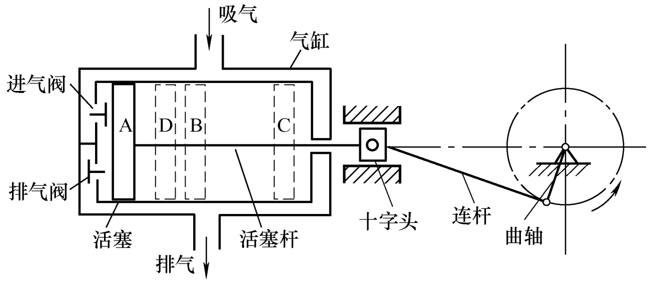


图 4-27　活塞式空压机原理

2. 空压机站改造说明

某厂空压机站是 20 世纪 70 年代国内首家从日本引进的具有当时世界先进水平的大型空压设备，它采用活塞式空压机进行空气压缩，其制造工艺极其复杂，设备非常昂贵，同时它为全厂提供压缩空气，其地位又非常重要。但经过多年的长期运行，电气设备老化严重，各种能耗非常之大，工作条件极其恶劣，继电器损坏较多且无备品，空压机频繁起停，严重影响空压机的使用寿命。因此决定利用在工厂中修时间，对原系统进行了改造，采用当今计算机控制技术和变频技术，引入 PLC 闭环控制和变频控制，提高了控制系统精度，并使该空压机站的控制系统达到先进水平。

原空压机系统存在的问题主要有，采用开环控制，不能保证控制精度；当输出压力大于 0.7MPa 时，自动打开泄载阀，使异步电动机空转，严重浪费能源；继电器损坏较多且无备品，严重威胁生产；输出压力的调节是靠人为调节开度的大小来实现的，劳动强度大、调节速度慢、波动大、不稳定、精度低；工作条件恶劣、噪声大。

改造空压机必须满足工艺提出的新要求：①空压机出口压力必须控制在 ±0.05MPa 内；②在输出压力大于 0.7MPa 时，自动关闭泄荷阀；③为了使新老系统双重化运行，在设计时要考虑新老系统的切换控制；④增加油压、水位、空气压力的综合报警功能。

改造方案为电气控制部分和压力闭环均采用 PLC 控制，电动机采用变频器控制。这套方案不仅用 PLC 取代继电器，提高控制系统可靠性，而且压力闭环的引入，也提高控制系统的控制精度；电动机用变频器控制，延长了电动机的使用寿命，还降低了能耗，最终实现了低投资高产出的目标。

改造后系统主要由变频器、压力变送器、PLC 组成，如图 4-28 所示。PLC 主要负责压

力模拟量的采集、压力闭环的 PID 控制、手动和自动控制方式的逻辑等。

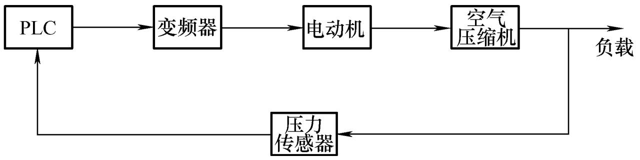


图 4-28　系统框图

控制程序框图如图 4-29 所示。空压机站控制系统分为手动和自动两种工作方式。当系统准备条件就绪时（无故障、冷却水压力 >0.2MPa，卸荷阀关闭、润滑油压力 >0.15MPa），即可起动运行。在运行过程中，输出的空气压力控制在 0.6 ~0.7MPa 范围内。若输出的空气压力大于 0.7MPa 时，计算机发出报警且自动关闭卸荷阀，使空气压力下降，当空气压力下降到 0.6MPa 时，系统就自动起动升压；若输出的空气压力低于 0.6MPa 且频率小于等于 23Hz 时，系统故障停车并切换到老系统工作。

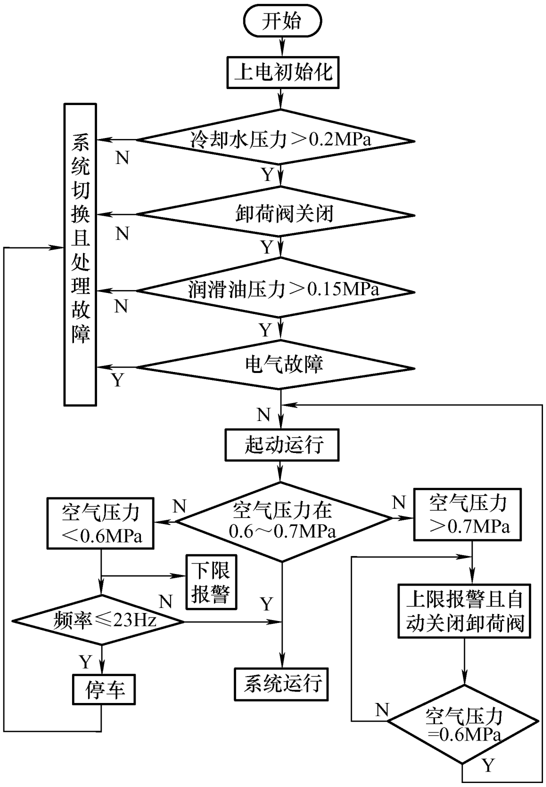


图 4-29　控制程序框图

案例 83　电除尘器的节电

1. 概述

电除尘器具有除尘效率高、处理烟气量、运行费用低等优点，被广泛应用于电力、冶金、建材等工业领域的烟尘治理。静电除尘器是火电厂烟气实现环保达标排放的重要辅助设

备，也是电厂高耗能设备之一。据不完全统计，电除尘器的耗电量约占机组厂用电量的0.6～0.8个百分点。如能够在保证电除尘器正常运行、除尘效率不降低或有提高的前提下，降低除尘器的电耗，对发电厂有很好的经济效益。图4-30所示为电除尘器外观。

由于辐射摩擦等原因，空气中含有少量的自由离子，单靠这些自由离子是不可能使含尘空气中的尘粒充分荷电的。因此，要利用静电使粉尘分离须具备两个基本条件，一是存在使粉尘荷电的电场；二是存在使荷电粉尘颗粒分离的电场。一般的静电除尘器采用荷电电场和分离电场合一的方法，如图4-31所示的高压电场，放电极接高压直流电源的负极，集尘极接地为正极，集尘极可以采用平板，也可以采用圆管。

图4-30　电除尘器外观

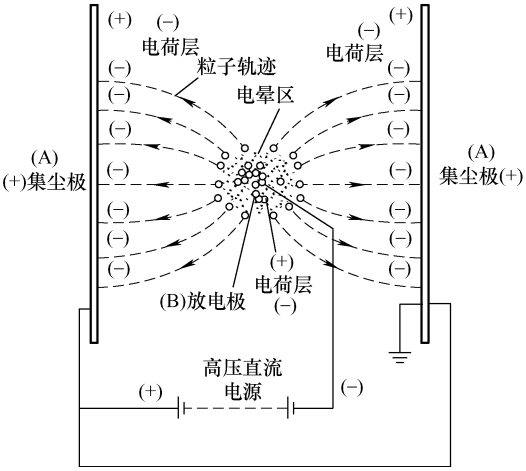


图4-31　静电除尘器的工作原理

在电场作用下，空气中的自由离子要向两极移动，电压越高、电场强度越高，离子的运动速度愈快。由于离子的运动，极间形成了电流。开始时，空气中的自由离子少，电流较少。电压升高到一定数值后，放电极附近的离子获得了较高的能量和速度，它们撞击空气中的中性原子时，中性原子会分解成正、负离子，这种现象称为空气电离。空气电离后，由于连锁反应，在极间运动的离子数大大增加，表现为极间的电流（称之为电晕电流）急剧增加，空气成了导体。放电极周围的空气全部电离后，在放电极周围可以看见一圈淡蓝色的光环，这个光环称为电晕。因此，这个放电的导线被称为电晕极。

在离电晕极较远的地方，电场强度小，离子的运动速度也较小，那里的空气还没有被电离。如果进一步提高电压，空气电离（电晕）的范围逐渐扩大，最后极间空气全部电离，这种现象称为电场击穿。电场击穿时，发生火花放电、电话短路、电除尘器停止工作。为了保证电除尘器的正常运动，电晕的范围不宜过大，一般应局限于电晕极附近。如果电场内各点的电场强度是不相等的，这个电场称为不均匀电场。电场内各点的电场强度都是相等的电场称为均匀电场。例如，用两块平板组成的电场就是均匀电场，在均匀电场内，只要某一点的空气被电离，极间空气便会全部电离，电除尘器发生击穿。因此电除尘器内必须设置非均匀电场。

2. 电除尘器能耗现状

电除尘器在实际运行过程中，用于高压收尘的电能消耗可分为3类：一是用于粉尘的荷

电与捕集的电能，称为“有效”电能；二是对粉尘的荷电与捕集起破坏作用的电能，称“反效”电能，如反电晕、二次扬尘等；三是介于上述两者之间，既不有利也不有害的电能，称为“无效”电能，如电晕放电过程中没有用于粉尘的荷电与捕集的多余电荷等，这部分被浪费的电能亦称“浪费”电能。

在电除尘器实际运行过程中，有效、反效、无效电能是交织在一起的；在总的电能消耗中，有效电能的比例很小，反效和无效电能占了绝大部分。因此，通过先进的技术措施提高有效电能比例，降低反效与无效电能比例，可进一步提高电除尘器的除尘效率，降低烟尘排放浓度并大幅降低电能消耗。

3. 电除尘器的节电技术及应用

（1）反电晕工况下的节能控制

国内一些电除尘器的除尘性能不太理想，其主要原因是电气控制特性差，主要采用常规直流供电，该供电方式对高温微细等高比电阻粉尘易产生反电晕现象，除尘效率低，且除尘效率随比电阻的增加而下降，不能适应各种工况条件的要求。在正常工况条件下，二次电流越大，携带粉尘的电子或离子越多，收尘效果也越好。但是，在高粉尘比电阻工况条件下，荷电粉尘在收尘极上不易释放的越多，反电晕越强，对除尘器效率影响越大。为了减少反电晕对电除尘器的影响，主要的方法有降低电流和电压运行参数，使其二次电流工作在一定范围内；或采用最高平均电源供电方式，避免二次电压下降，二次电流增大的反电晕现象。

最近兴起和正在推广的是间歇供电，它利用常规电源的控制线路，对原有的全波整流输出进行调控，周期性地阻断某些供电波，达到间歇输出的目的。由于电除尘器电场电容的作用，间歇供电在使电流大幅度下降的同时还保留较高的电压。它对电除尘器性能的改善主要体现在以下几方面：具有脉冲供电的特征，减少充电时间，减小平均电流破坏了反电晕的产生的条件，抑制了电晕发生；电压波的形成有脉冲形状，火花击穿电压提高，运行电源峰值提高；由于电压峰值的提高和收尘板电晕正离子的产生受到抑制，粒子的荷电比提高，收尘效率随之提高；减少供电使电场强度下降，有利于振打除灰；大幅度节省能耗。在维持同样收尘效果的前提下，间歇供电的节能效率可稳定达到60%以上。

（2）高频开关电源的节能技术

电除尘主要电能消耗是高压电源。从20世纪80年代至今，环保领域电除尘器所使用的高压供电电源基本上都是采用输入为两相的晶闸管工频相控电源，其间人们一直在改进，比如研制了将输入改为三相的晶闸管工频相控电源，调幅式LC恒流源等，在系统控制方面也做了许多工作，比如把反馈控制量由电压改成电流，电源调节采用了单片机等。

但是这种传统的低频整流电源主要有很多缺点：一是工作频率低，转换效率低至75%以下，耗费电能；二是工作频率低，变压器和滤波器体积大、重量重，且耗费大量的铜和铁，不符合可持续发展，同时价格又高、性价比低；三是电源输入为两相380V交流工频电源，又是工频相位调节，致使输入功率因数低至0.7以下，对电网造成很大的电磁干扰，电磁兼容性差，不符合自然和谐发展；四是体积庞大的电源控制调节机箱和隔离升压用的工频变压器分居两处，耗费空间，增加基建费用；五是输出纹波大，致使电晕电压低下，波形又是单一的工频波，使得无法适应高比电阻的工况，达不到环保领域粉尘排放标准的新要求。

节电型的高频高压电除尘器电源技术原理如图4-32所示，具体为，三相工频交流电整流滤波形成直流电→通过逆变电路形成高频电流脉冲→对电流脉冲的周期进行优化控制→电

流脉冲通过高频变压器进行升压→对高压电流脉冲进行整流→送电除尘器电场。

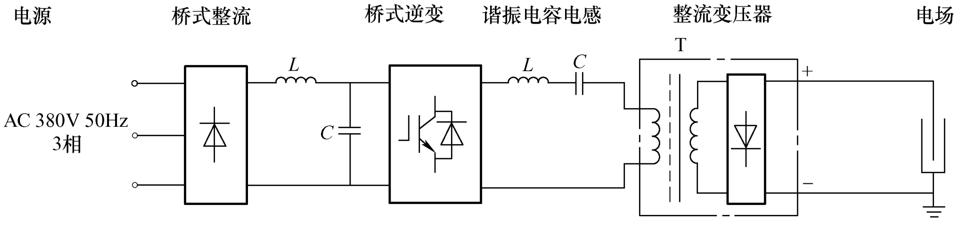


图 4-32　高频高压电除尘器电源技术原理图

图 4-33 所示的高频电源体积小、重量轻，只有常规工频电源的几分之一，占地空间小，便于安装，采用三相电源平衡输入，对电网无污染，无缺相损耗，属于绿色电源，效率与功率因数高，效率通常大于 93%，功率因数也大于 93%，比工频电源保守估计节能 20% 以上，节电收益相当可观。

图 4-33　高频高压电除尘器

案例 84　凝结水系统的节电

1. 概述

因机组类型及辅机配置不同，凝结水系统耗电量通常占火电机组厂用电量的 1.4% ~9.0%。表 4-3 为某电厂近年各类型火电机组凝结水系统耗电率统计。

表 4-3　某电厂近年各类机组凝结水系统耗电率统计　(%)

项　目	超超临界 660MW 机组	超临界 600MW 机组	亚临界 600MW 机组	亚临界空冷 600MW 机组	350MW 机组	300MW 机组	200MW 机组	125MW 机组	100MW 机组
平均	0.34	0.3	0.23	0.23	0.21	0.22	0.19	0.26	0.16
最优	0.27	0.15	0.18	0.17	0.14	0.14	0.11	0.16	0.13
最差	0.43	0.49	0.38	0.38	0.30	0.42	0.35	0.34	0.24
与最优差	0.16	0.34	0.20	0.21	0.16	0.28	0.24	0.18	0.11
与平均差	0.09	0.19	0.15	0.15	0.09	0.20	0.16	0.08	0.08

从表 4-3 可以看出，同类型机组凝结水系统耗电率最差与最优差别在 0.11% ~0.34% 之间。对于 600MW 机组来说，按年利用小时数 5 000h 计算，凝结水系统耗电率较高的机组将损失 330 万 ~1 020 万 kW · h 上网电量，相当于浪费标准煤 1 000 ~3 400t/年。因此，对凝结水系统进行节电改造非常重要。

2. 变频改造效果不佳

某电厂 CLN600-24.2/566/566 型超临界汽轮发电机组配置 2 台 NLT500-570X4S 型凝泵，经济流量 1 630t/h，扬程 328m。为提高机组运行的经济性，近年 2 台机组 A 凝泵加装了高压变频器，投运后转速变化对凝泵进、出口管道振动造成明显影响。

图 4-34 为 1 号机组 500MW 负载时 A 凝泵入口管道振幅随凝泵转速变化趋势，泵转速在 1 250 ~1 400r/min 区间，入口管道振幅超过 50μm，因此不得不采用变频器调速和凝结水主调节阀节流联合的调节方式变频投运后调节幅度较小，无法达到预期的节电效果。

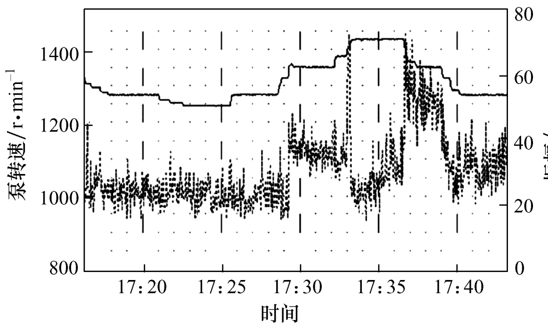


图 4-34　凝泵入口管道振动变化趋势

3. 凝结水系统节电措施

主要有以下三种方法要注意：

（1）保持合适的凝泵流量及扬程

目前 125MW 及以上机组凝泵、疏水泵和工业抽气供热机组补水泵多为多级离心泵，根据凝泵串联工作特性：

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_n$$

$$H = \sum_{i=1}^{n} H_i \tag{4-3}$$

式中　Q——凝泵输出流量；

Q_1、Q_2、Q_n——通过各级叶轮的流量（m^3/h）；

H——凝泵总扬程；

H_i——凝泵每级叶轮的扬程（m）；

n——叶轮的级数泵扬程、流量富余量较大的应拆除富裕叶轮，其相当于将图4-35中 H-Q 曲线向下平移。

这种改造的特点是工作量较小，在不改变泵组外形尺寸的情况下，更换零部件少，拆下叶轮可以备用。另外，泵组工作点偏离原经济工作点较少，泵组效率较高。

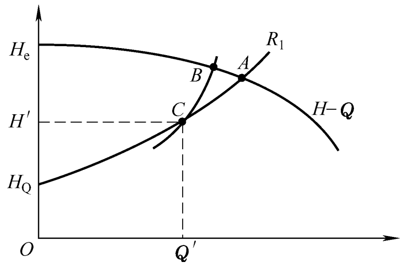


图 4-35　凝泵运行曲线

（2）降低管系阻力损失

在加热器允许最大流量下，控制凝结水系统低压加热器水侧阻力之和不超过 0.4MPa（加热器堵管率不超过规定标准），凝结水精处理压降不超过 0.25MPa，除氧器凝结水喷头压力损失不超过 0.06MPa，调节阀全开情况下，调节阀压降在 0.07 ~0.40MPa 之间。去除多余的设计安装不合理弯头，对凝结水主调节阀重新选型，清理除氧器凝结水喷头堵塞的杂物，减少阻力损失。

（3）合理使用变频器调速

变频器应根据改造后泵组需要的最大功率选择，而不能根据电动机功率选择。

案例 85　电厂锅炉一次风机高压变频器的选用

1. 概述

受设计和制造技术条件的影响，电厂主要用电设备如送风机、引风机、一次风机、给水泵等高耗能设备，其输出功率不能随机组负载变化而变化，只能通过改变挡板或阀门的开度

来调整，造成大部分能量消耗在节流损失中。针对以上能源浪费的现象，采用高压变频调速技术对电厂主要用电设备的驱动电源进行技术改造，是电厂节能降耗、提高竞价上网竞争能力的有效途径。

2. 风机变频调速节能分析

风机是流体机械，由流体动力学可知，流量 Q 与转速 n 成正比，扬程 H 与转速 n^2 成正比，电动机功耗 P 与转速 n^3 成正比。当转速由额定转速 n_e 降为 n 时，流量由额定值 Q_e 降至 Q，与额定功耗 P_e 相比较，采用转速调节时电动机的功耗为 $P=(n/n_e)^3P_e$。

如果流量 Q_e 由 100% 降到 50%，则转速 n_e 由 100% 降到 50%，扬程 H 降到 25%，而电动机的功耗降到 12.5% P_e，即节约电能 87.5% P_e。即使扣除挡板调节时的功耗与额定功耗的差、转速下降可能会引起电动机的效率下降等因素，节电效果也是非常显著的。

图 4-36 所示为风机在定速运行时的工作特性曲线，其中 AB 为风机的 Q-H 曲线，OB、OP、OQ、OR、OS 等为挡板不同开度时的管路阻力曲线，Q-H 线与管路阻力曲线 OB 等的交点即为风机的工作点。当关小挡板流量减小时，风机分别工作在 P、Q、R、S 点。风机在设计工作点（额定工作点）时效率最高，在非设计工作点时效率降低，其损失消耗在挡板压降上，产生的热量被风带走，压降损失最终体现在电动机的功耗上。

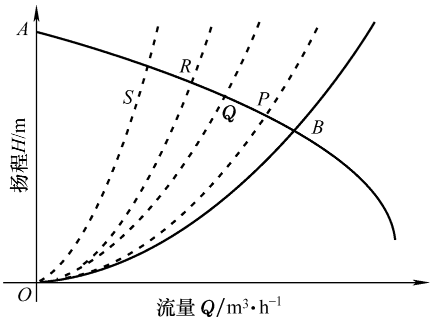


图 4-36　风机定速运行工作特性曲线

利用变频器调速，可使电动机和风机变速运行，风机在变速运行时，有多条 Q-H 特性曲线。在小流量时，风机的转速和扬程 H 较小。

除了节能效果显著外，采用变频调速还有以下优点：

1）异步电动机起动时电流一般为电机额定电流的（6～8）倍，且容易产生操作过电压，损伤电动机绝缘。采用变频器后，电动机可在 0 转速下起动，即软起动，可大大延长电动机和风机的使用寿命。同时，运行噪声低，磨损减少。

2）高压变频器采用液晶显示数字界面，调速精度高。

3）有通用的外部接口，可以与可编程逻辑控制器、工控机、DCS 进行数据交换并实现联锁控制等。

3. 变频器电气系统配置

变频器正常时处于变频运行状态，异常时处于工频运行状态，因此必然涉及变频状态和工频状态之间的切换方式问题。切换方式也包括两种：自动切换方式、手动切换方式。考虑到锅炉一次风压稳定对于机组安全运行的重要性及其他电厂一次风机变频改造的经验，决定采用手动旁路系统。

变频器的电气系统配置如图 4-37 所示。QF 为一次风机原 6kV 断路器，QS_1、QS_2、QS_3 为手动刀开关。当 QS_1、QS_2 同时闭合、QS_3 断开时表示：“变频位”；当 QS_1、QS_2 同时断开、QS_3 闭合时表示：“工频位”；变频位和工频位之间的闭锁由就地机械装置来保证。变频位和工频位只是上述开关状态的表示，并不表示风机已处于相应的运行状态。只有当风机处于“变频位”状态，且 6kV 断路器 QF 闭合后，才表示风机处于“变频运行”状态；同理只有当风机处于“工频位”状态，且 6kV 断路器 QF 闭合后，才表示风机处于“工频运行”状态。

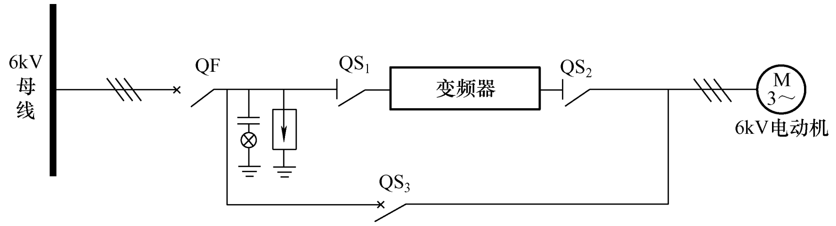


图 4-37　变频器电气配置

为了确保机组自起停功能不受影响，变频改造后，没有把变频器作为单独的设备驱动级，而是把其起停逻辑集成到一次风机驱动级逻辑回路中，并对相应步序逻辑的允许条件进行修改。

案例 86　发电厂循环水泵的双速改造

1. 概述

某电厂总装机容量为 4 ×600MW，每两台组机组配置四台循环水泵。由于季节温差大，补水流量不尽相同，夏季需要三台泵运行，春秋季节两台泵运行就能够满足补水要求，到了冬季两台泵运行存在流量偏大的情况，同时与循环水泵配套的单速电动机在运行中转速恒定，运行方式单一，机组的循环水量不能根据运行工况进行转速调整，电能浪费严重、设备效率偏低，尤其是在轻载或较冷季节运行时，这种状况更加不利于提高机组的经济效益，既浪费电能又浪费水资源，因此选择合适的调速方式对循环水泵进行节能改造显得十分必要。

2. 双速电动机的节能原理和改造方法

目前，火力发电厂中的6kV 风机、水泵绝大部分电动机都是异步电动机，国内外经过长期的研究和探索，异步电动机的节能改造技术较为常用方法有两种，即变频改造和双速改造。

第一种：加装高压变频器对循环水泵电动机转速进行调速控制。这种方法是要增加变频设备，设备的优点是调速作用明显，但也存在初期投资大，维护成本较高，可靠性不高等缺点。

第二种：将循环水泵电动机进行变极改造（16 极改为 16/18 极双速）。这种方法是利用电机本身条件，将电动机从单速改为双速，在国内应用较多、经验成熟且费用低、工期短，但节能效果可能不如变频装置。

另外，串级调速和永磁改造也是异步电动机良好的节能方式，但在大功率高压电动机中运用还不是很广泛。

上述两种改造方法都能做到对循环水泵的转速进行调控，保证在改造后的循环水泵的可调性能够提高，达到节能降耗的目标。经充分论证和分析，结合 2 号机组 B 级检修工作，认为第二种方法比较符合现场实际，决定对#02A、#02B 循环水泵电动机采取双速改造方案，两台 16 极循环水泵电动机改造为 16/18 极双速电动机。

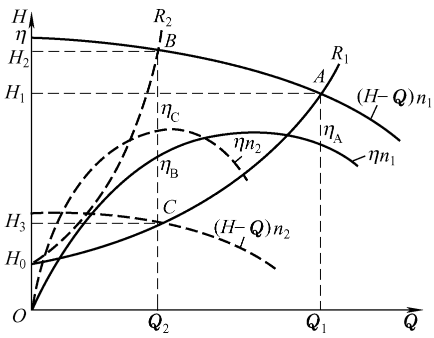


图 4-38　泵类负载调速节能原理图

图 4-38 所示为泵类负载调速节能原理图，由离心泵相似定律知，在不大范围内改变泵的转速，泵的效率

近似不变，其性能近似关系为

$$
\begin{aligned}
Q_1/Q_2 &= n_1/n_2 \\
H_1/H_2 &= (n_1/n_2)^2 \\
P_1/P_2 &= (n_1/n_2)^3
\end{aligned}
\tag{4-4}
$$

式中，Q_1、Q_2、n_1、n_2、H_1、H_2、P_1、P_2 分别表示 n_1 和 n_2 下泵的流量、扬程和功率。

随着异步电动机变极调速技术的进一步发展，研制改进了低速高效双速电动机，循环水泵电动机进行双速改造，可增加循环水量的灵活性，满足不同季节的供水需要，避免运行泵工作点的严重偏移，提高泵的运行效率，收到显著的效果。

原循环水泵电动机为 4 Y联结，为 16 极，定子 144 槽，对 4 Y联结的循环泵电动机，可在原有绕组的基础上，将绕组的连接方法 4 Y改成 2 Y/△联结的双速电动机，能满足循环泵在冬天低速运行，夏天高速运行的要求，以达到节能的目的。高、低速的切换时通过改变装在电动机外壳上的变极接线板连接方式来实现（变极工作如不计停、送电操作和安全措施仅需 20min)，改造后的双速节能改造前后技术数据见表 4-4。

表 4-4　电动机双速节能改造前后技术数据表

电动机性能	改　造　前	改造后（低速）（高速性能不变）
输出功率	3800kW	2700kW
额定电压	6kV	6kV
额定电流	458A	344A
额定频率	50Hz	50Hz
额定转速	369r/min	328r/min
效率	95.3%	95.0%
功率因数	0.84	0.80
起动电流	4.9 倍	4.7 倍
起动力矩	0.9 倍	0.88 倍
最大力矩	2.4 倍	2.3 倍
空载电流	155A	140A
发热参数	2100	1580
温升	不变	低于改造前
振动	不变	≤2.8mm/s
噪声	不变	≤85dB（A）

案例 87　电厂灰浆泵系统的永磁调速改造

1. 概述

某热电厂的除灰系统分为干除灰和水力除灰两种方式。水力除灰系统有三台离心灰浆

泵，系统布置如图4-39所示。其中：1#、3#灰浆泵配置相同，电动机型号：JS136-4；功率：220kW；供电电压：6kV；额定输出转速：1480r/min；渣浆泵型号：ZM150-H-95；额定流量：290m^3/h。2#灰浆泵，电动机型号：JS148-6/310；功率：310kW；供电电压：6kV；额定输出转速：987r/min；渣浆泵型号：150Z-95。

灰浆泵系统原设计采用两投一备运行方式。干出灰系统投用后采用一投一备运行方式，实际运行中存在以下问题：灰浆池进出灰浆量严重不平衡，通过人工观察决定开停电动机，导致高压电动机起停频繁，系统故障率高；灰浆泵系统自动化程度低、运行可靠性低；往灰浆池中注入回水，浪费电能和水资源；现场环境恶劣、湿度大、粉尘含量高；灰渣泵磨损大，曾发生过堵转事故；现场空间狭小，不适宜采用高压变频器。通过反复论证，最后放弃高压变频器而采用永磁调速器对该灰浆泵系统进行技术改造。

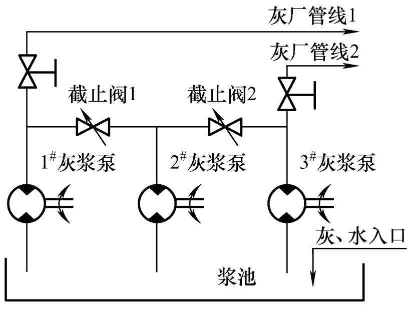


图4-39　灰浆泵系统图

2. 永磁调速技术原理

永磁调速器的结构如图4-40所示，主要由两部分组成，一部分是安装在负载侧的磁转子，另一部分安装在动力机侧的铜转子，铜转子与动力机转速一致，在运行过程中保持不变。其工作原理如图4-41所示，铜转子和磁转子可以自由地独立旋转，当铜转子旋转时，铜转子与磁转子产生相对运动，交变磁场通过气隙在铜转子上产生涡流，同时涡流产生感应磁场与永磁场相互作用，从而带动磁转子沿着与铜转子相同的方向旋转，结果是在负载侧输出轴上产生扭矩，从而带动负载做旋转运动。通过调节永磁体和铜导体之间的气隙就可以控制传递扭矩的大小，从而获得可调整的、可控制的、可以重复的负载转速，实现负载转速的调节。

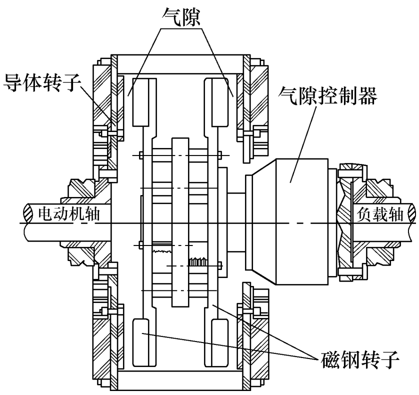


图4-40　永磁调速器结构图

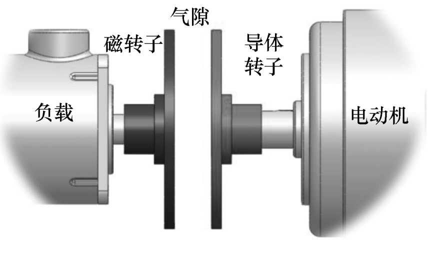


图4-41　永磁调速原理图

高压变频器采用复杂的电路拓扑将数以万计的电力电子元器件串并联，实现对高压电动机的输入频率和输入电压改变从而实现电动机的转速变化，属于电气调速。而永磁调速器采用高强度的磁转子与铜转子相互作用，实现电动机与负载没有机械连接，通过调节气隙的大小实现负载调速，电动机转速不变，负载调速，属于机械调速。参考表4-5。

表 4-5 高压变频器与永磁调速器比较

序号	内容	高压变频器	永磁调速器
1	基本原理	电气调速	机械调速
2	可靠性	低	高
3	是否环保	否（污染电网、产生电磁辐射）	是（不污染电网、不产生电磁辐射）
4	使用寿命	短（5～10 年）	长（10～20 年）
5	节能效果	高	与变频相当
6	环境要求	高（温度、湿度、粉尘要求高）	低（可适合各种恶劣环境）
7	维护	要求高费用贵 即使某个器件故障都将更换整个功率单元	免维护
8	隔振效果	不隔振	隔振好
9	易损件	电力电容等	无
10	结构	复杂	简单
11	体积	大	小
12	电动机散热	变差，需要强制散热	散热没有影响

3. 永磁调速改造实施

对 1#灰浆泵永磁调速改造现场工艺布置图如图 4-42 所示。永磁调速器安装在电动机和泵轴端之间，伺服机接受控制系统根据浆池水位发出的指令，调节永磁调速器的磁转子与铜转子之间的气隙大小，实现对泵轴转速进行调节。

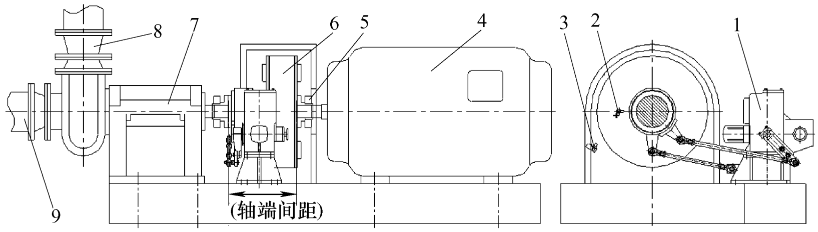


图 4-42 灰浆泵永磁调速改造现场工艺布置

1—伺服机 2—测速传感器 3—测温传感器 4—电动机
5—胀套 6—永磁耦合器 7—泵 8—出水口 9—进水口

案例 88 电厂冷却水塔均匀进风节能改造

1. 概述

冷却水塔工作是重要的，直接影响到循环水的温度，从而影响到真空。据研究，循环水温度每降低一度，供电煤耗可以降低 1～2g/kW・h。目前火力发电厂常见的冷却水塔冷却效率普遍较低，冷却水塔冷却效率平均为 50%，同时循环水损失较大。

2. 冷却水塔优化进风技术特点

冷却水塔优化进风技术特点为全周进风均匀、增大冷却塔进风量、改善塔内空气动力

场，从而提高塔的冷却效果。其安装如图4-43所示的1、2、3部位全周安装翼型导风板，形成多个进风通道，平衡全周进风、消除漩涡。

（1）安装导风板后的作用

引导进入塔内的气流产生旋流运动，强化传热与传质；

实际上，增加了气流的切向风速；

在一定程度上降低了冷却塔的噪声；

完全消除有侧风时产生的水滴外飘，这在冬天防止结冰是有好处的。

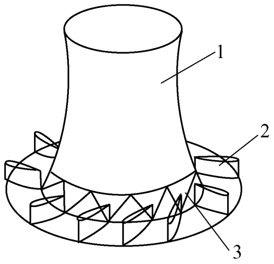


图4-43　安装导风板后冷却塔进风口的进风情况

（2）改造效果

改造后的效果，循环水温度降低：在0.5℃和2℃之间，改善冷端冷却条件，实现冷端节能、节水和降噪的统一。

案例89　起重机主电动机的变频改造

1. 背景介绍

随着我国建筑业的不断发展，建筑施工机械化水平的不断提高，对起重机的制造质量和整机技术水平的要求也越来越高。起重机的各个传动机构所采用的方式、控制系统的技术水平、用户的可操作性和可维护性基本上就体现了整个起重机的技术水平和档次。而在这几个机构中，最为重要也是最具有技术代表性的是起升电动机机构，它控制功率最大、调速范围最宽、出故障后的维修难度也最大。而且该系统在变速过程所产生的机械冲击的大小将直接影响起重机结构件的疲劳损伤程度。

鉴于以上的原因，国内外的专业生产商在起重机的起升调速方式上进行了较多的新技术应用尝试，比如采用多极电动机的调压调速，引进变频调速等。逐渐地，随着变频技术的不断发展，不断地被人们认识，它以绝对的优势超越了其他的任何调速方案，其优点数不胜数，如零速抱闸，对制动器无磨损；任意低的就位速度，可用于精确吊装；速度的平滑过渡，对机构和结构件无冲击，提高了起重机的运行安全性；极低的起动电流，减轻了用户电网扩容的负担；几乎任意宽的调速范围，提高了起重机的工作效率；节能的调速方式，减少了系统运行能耗；单速的笼型电动机保证了机构的运行可靠性能。正是因为这些明显的特点和优势，国外的起重机制造商所推出的新一代起重机的起升机构也大多采用变频调速方案，如POTAIN，LIEBHERR等世界著名公司。

2. 项目实施

图4-44所示为某起重机的主电动机，即起升电动机机构图。已经该电动机功率为30kW，采用三相交流电电磁制动器，请按照以下要求进行设计：起动时，先产生力矩，再打开制动器，进行多段速控制调速；停机时，先运行到零速，再制动。

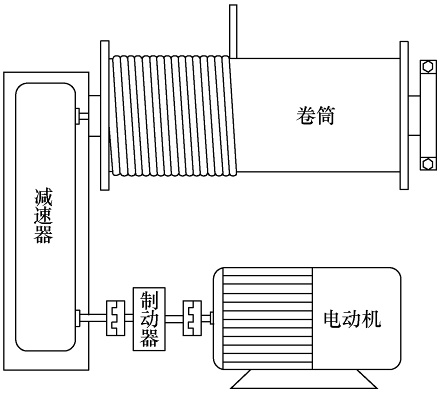


图4-44　起重机起升机构图

（1）熟悉常规变频起升机构的设计要点

现在的变频起升机构其电气控制原理和结构形式

大多如图4-45所示，它基本代表了国内和国外目前所采用的典型方案，从技术上来讲，大同小异，其不同点在于：

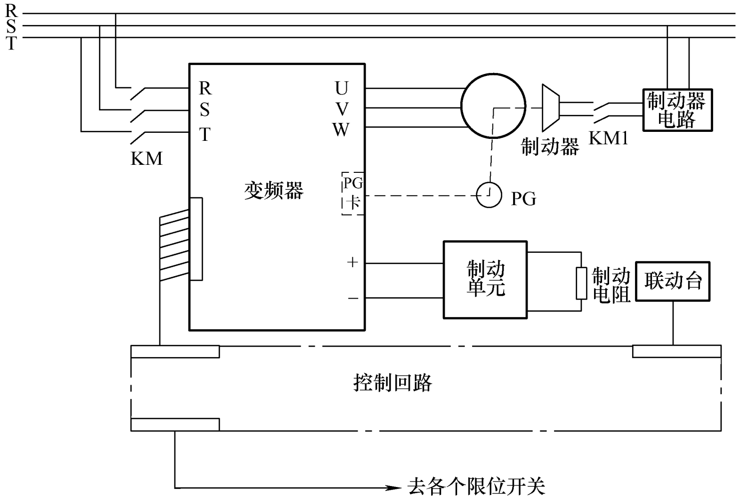


图4-45　常规起重机变频起升机构的电气控制原理图

1）变频器的品牌不同，其采用的控制回路不同；

2）系统是开环（不带PG）或者是闭环（带PG）；

3）机械结构的形式的不一样：L形布置、π形布置或一字形布置等；

4）减速机的类型不一样，如圆柱齿轮减速机或行星减速机；是定速比或可变速比等。

在选择电动机功率时，应参考图4-46给出的功率损失图。根据以上的条件就能基本确定减速机的减速比与电动机功率和极数。

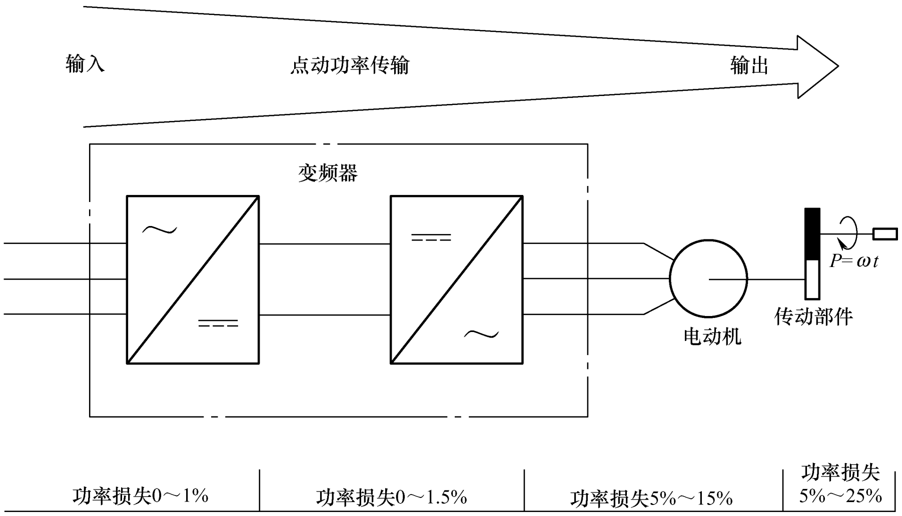


图4-46　变频系统电动状态功率图

（2）熟悉电控系统的设计

1）变频器的选取

当系统的电动机确定后，就可着手进行控制系统的设计。首先是变频器的选型。现在市场上的国内外变频器品牌不少，控制水平和可靠性差别较大，技术上大体可分为 V/F 控制、矢量控制和 DTC 直接转矩控制三种。用于起重机的起升机构，建议最好选用具有矢量控制功能或者是具有 DTC 直接转矩控制功能的变频器，这样的变频器品牌较多，设计者可根据自己的熟悉程度、技术支持力度、其他行业厂的使用情况等因素来选择。

由于变频器品牌的不同，相同功率下变频器的过载能力和额定电流值也不完全一致。所以，选择变频器容量时，不单要看额定功率的大小，还要校核额定工作电流是否大于或者等于电动机的额定电流，一般的经验是选择变频器的功率大于电动机功率 10% ~30% 左右。

2）能耗电阻的选取

作为起重用变频系统，其设计的重点在于电动机处于回馈制动状态下的系统可靠性，因为这种系统出故障往往都发生在重物下降时的工况，如溜钩、超速、过电压等。也就是说重物下降工况时变频系统的性能好坏将直接影响整个起升机构能否安全运行。

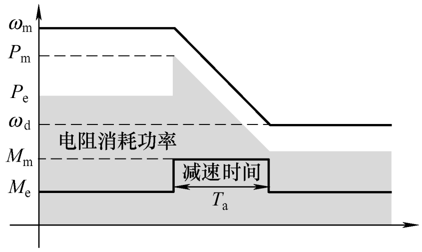


图 4-47　下降减速状态

ω_m—减速前下降速度　ω_d—减速后下降速度

P_m—减速峰值功率　P_e—匀速消耗功率

M_m—减速制动转矩　M_e—负载转矩

从图 4-47 中可以看出，重物的下降功率是经“传动部件”、“电动机”（此时处于发电状态）、变频器内的反向整流回路再由制动单元而传递到“电阻 R”上的，如果传动环节的反向效率越低，电阻上消耗的功率就越小。

于是有

“电阻 R”发热消耗功率 + 传递路径上消耗的功率 = 重物下降的功率

进一步还可得到电阻消耗功率 P 的表达式：

在匀速下降时稳态功耗：

$$P_e = \omega_m M_e \delta \tag{4-5}$$

式中　δ——传动系统的反向效率。

减速时的峰值功耗：

$$P_m = P_e + \delta J(\omega_m - \omega_d)/T_a \tag{4-6}$$

式中　J——传动系统的转动惯量。

结合式（4-5）和式（4-6）有如下状况：

①当起升机构运行在额定功率状态并高速下降时，如果此时给出减速指令，在减速的初期，电阻的消耗功率将达到最大值；

②过短的减速时间，将造成在电阻上的消耗功率峰值上升；

③系统的转动惯量和载荷越大，减速时的制动转矩就越高，也会造成在电阻上消耗功率的峰值上升；

④当传动系统的机械效率越低，电阻消耗功率也越低。

可见，要准确地计算电阻消耗功率，就必须知道传动系统中各个部件的转动惯量、减速点对应的起始工作速度和结束工作速度、减速过程的时间长短以及系统载荷大小等。

3）控制方案的确定

首先是系统采用开环或闭环控制的选择，一般的起重机起升机构可以采用开环控制方

式，那些对速度控制精度要求较高的情况才要考虑闭环控制。如果要构成闭环系统，一定要有 PG（编码器）、检测回路和连接线。这些环节加大了安装的复杂性；增加了系统成本；更重要的是降低了系统的可靠性，因为在闭环系统中，反馈回路任何细小的差错可能造成系统紊乱。

其次是速度给定方式的选取，绝大多数的变频器都有多种速度输入方式，如多级开关量输入方式和模拟量给定方式，不少品牌的变频器还具备有总线通信接口。对于常规变频起升机构，大多采用开关量作为速度给定，不同在于是采用 PLC 还是继电逻辑控制。传统上认为最为简洁的系统结构应该是由 PLC 与变频器通信接口传送速度与控制指令，这样控制柜内的连接线最少。

（3）硬件设计

起重机主电动机的变频硬件设计如图 4-48 所示。它包括两部分的内容：变频器与制动单元、制动电阻的连接。起重机变频器 30kW，采用外置制动单元 FR-BU 和制动电阻 FR-BR，并将制动单元的故障继电器输出、制动电阻的过热保护输出与变频器起动回路接在一起；机械制动器的连接。采用变频器输出 ABC1 的功能（即制动器开放要求）与三相输入机械制动器的接触器相连，以确保起重机设备的安全运行。

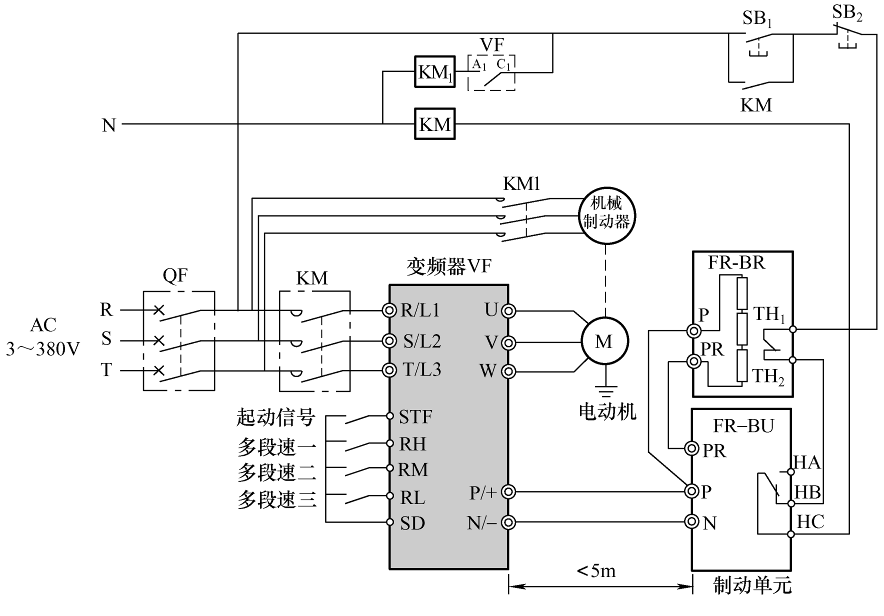


图 4-48 起重机主电动机制动接线

案例 90 电动葫芦的节电

1. 概述

电动葫芦简称电葫芦，是一种轻小型起重设备如图 4-49 所示。多数电动葫芦由人使用按钮在地面跟随操纵，或也可在司机室内操纵或采用有线（无线）远距离控制。

电动葫芦的工作原理是，先起动起升电动机，把重物起升到适当的高度，再起动运行电动机把重物运到指定的位置，运行小车在单工字钢梁的下缘行走。行走时采用一个电动机驱

动运行小车两边的车轮。由于行走速度比较小，因此运行小车一般不设制动机构。运行小车在行走时，为防止重物下降，在起升机构上设置了一个电磁制动器。制动是依靠弹簧的压力把内、外盘压紧，原理与摩擦离合器相似，松开时利用电磁铁通电以后吸住外盘而使内、外盘松开。电磁制动器的电路与起升电动机的电路并联，因此只要起升电动机一起动，电磁制动器松开，使重物上、下升降自如；当电动机关闭时，则电磁制动器也断电，电磁吸引力消失，在弹簧的压力作用下，内外盘紧紧压住，起到制动的作用。

图 4-49　电动葫芦外观

2. 电动葫芦接触器控制与变频控制方式下的能耗分析

由于按钮控制的原因，电动葫芦起重机吊运时的最大特点是离地起吊和下降落地时都会采用点动控制方式来完成搬运任务，对于非变极调速、非变频的电动葫芦起重机来说，在这两个瞬间极易产生电气冲击带来机械冲击现象。对采用普通接触器按钮控制（以下简称接触器控制的起重机）和变频器按钮控制（以下简称变频器控制的起重机）两种不同控制形式的电动葫芦起重机进行吊载试验。

被测电动葫芦基本参数：额定起重量 5t；额定起升速度 8m/min；电动机额定功率 7.5kW。试验工况：起吊 2t 载荷提升至 2m。测试其离地上升和下降落地时的瞬态冲击电流、瞬态冲击功率和匀速上升和下降时的稳态工作电流和稳态有功功率，其测试数据见表 4-6 和表 4-7。

表 4-6　普通接触器控制电动葫芦能耗（起吊载荷 2t）

工　况	工作电流/A	工作电压/V	有功功率/kW
离地上升	28	370	19.8
匀速上升	11	368	3.8
匀速下降	10	371	-1.6
下降落地	25	374	17.9

表 4-7　矢量控制变频器电动葫芦能耗情况

（起吊载荷 20kN，$f=50$Hz）

工　况	工作电流/A	工作电压/V	有功功率/kW
离地上升	8.3	380	4.2
匀速上升	8	381	3.9
匀速下降	—	—	—
下降落地	—	—	—

注：变频器未接能量回馈装置，在下降过程中转换的能量都消耗在制动电阻上，表中无数值。

由表 4-6 可以看出，起重机在做匀速上升运行时的电机工作电流 11A，有功功率 3.8kW，匀速下降时的工作电流 10A，有功功率 -1.6kW。而在离地上升或下降落地点动时的冲击电流的峰值分别为 28A 和 25A，分别为稳定运行时的 2.8 倍和 2.5 倍；冲击功率的峰

值 19.8kW 和 17.9kW，分别为稳定运行时的 5.2 倍和 4.7 倍。

在下降稳态过程中机械势能转换成电能的一部分消耗在电动机的各种损耗上，剩余部分 1.6kW 反馈给电网。在升、降点动的瞬间会带来极大电流冲击，导致电动机的瞬时功耗增大，电动机温度急剧上升，极不利于电动机的使用寿命。其总等效功率为 6.87kW。

由表 4-7 可以看出，采用变频器控制后，起吊离地瞬间点动操作时的工作电流为 8.3A，有功功率为 4.2kW，与匀速上升时的工作电流 8A 和有功功率 3.9kW 相差无几，这说明起动过程平稳，消除了电流冲击现象，基本没有冲击电流，与普通接触器控制方式相比，电流冲击现象和机械冲击现象都大为减少。在没有能量反馈装置时，下降过程中的机械势能转化成电能，其一部分用于电动机及传动部分的损耗，剩余部分消耗在变频器的外接电阻上，所以在下降过程中电动机的电流、电压、功率均不体现。其等效功率为 3.94kW，由此可见，普通接触器控制方式造成的冲击给电动机带来的功率损耗为 2.93kW，变频器控制所带来的节电率可达 42.65%。

案例 91　桥式起重机的节电

1. 概述

图 4-50 所示的桥式起重机是横架于车间、仓库和料场上空进行物料吊运的起重设备。由于它的两端坐落在高大的水泥柱或者金属支架上，形状似桥。桥式起重机的桥架沿铺设在两侧高架上的轨道纵向运行，可以充分利用桥架下面的空间吊运物料，不受地面设备的阻碍。它是使用范围最广、数量最多的一种起重机械。

图 4-50　桥式起重机

2. 变频改造能耗比较

对两台 50t 桥式起重机进行等载荷等高度吊重运行的对比试验，其中一台用主令控制器控制电动机在转子回路中串接起动电阻的调速方式（以下简称为接触器控制起重机），另一台用主令控制器控制电动机在定子回路中串接变频器的调速方式（以下简称为变频器控制起重机）。

通过测试发现这两台起重机起升机构在起吊 50t 载荷做上升、下降运动时所消耗的有功功率是不同的。图 4-51、图 4-52 分别是两台起重机的有功功率波形图。

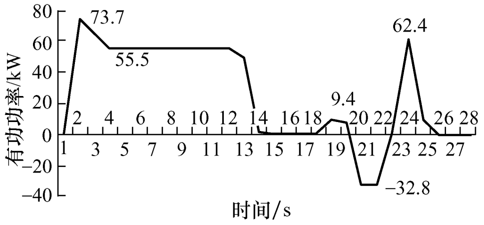


图 4-51　接触器控制起升机构升降功率图

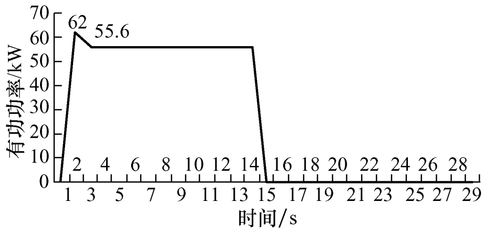


图 4-52　变频器控制起升机构升降功率图

从图 4-51 可以看出，起重机在起吊 50t 重物时，电动机的功率冲击峰值为 73.7kW，其稳态功率值为 55.5kW，冲击值是稳态值的 1.33 倍。虽然起重机在下降运行时势能转换成电

能，但由于上升时功率冲击峰值的作用时间长，使其总的等效功率为 73.44kW。

图 4-52 中变频器控制的起重机因装有制动单元，所以只有正向上升功率，反向下降时的功率曲线显示为 0。下降时所有势能均消耗在制动电阻上（据有关资料报道，若采用能量反馈，可节能 20% ~40%）。其上升时功率冲击峰值为 62kW，而且作用时间短，变频器控制的起重机总等效功率约为 56.12kW。上述两种不同控制形式的起重机在同等试验条件下，总功率差值为 17.32kW，可以得出采用变频器控制后的节电率为 23.58%。

桥式起重机由转子中串接起动电阻控制的系统改为变频调速控制系统后，不但能使得起、制动过程中速度平稳变化，大大减少起重机的机、电冲击现象，其本身节约了电能，而且还可以提高电动机的功率因数，节约了供电系统的能量，对起重设备的安全运行和能源的充分利用作用显著。

案例 92　集装箱龙门吊的节电

1. 概述

传统变频器将集装箱龙门吊（见图 4-53）下放重物而产生的能量通过制动电阻以热的形式消耗掉，造成巨大的能源浪费。针对此部分能量的回收利用，可以采用超级电容储能的方式实现龙门吊的节能降耗，但是目前由于超级电容的价格和维护成本较高，经济可行性较低，在实际工程应用中此方案有很大的局限性。能量回馈电网技术，实现能量的再生利用，相对于超级电容储能、电池储能和飞轮储能等技术，其整体性价比较高，但其对回馈电网的电能质量要求较高。

2. 龙门吊节能降耗改造方案介绍

传统集装箱龙门吊主要电气设备有，不可控整流单元、起升机构、大车机构、小车机构和制动单元，如图 4-54 所示。网侧采用不可控整流单元，起升、大车和小车机构的调速用变频器直接挂在直流母线上，采用制动电阻能耗制动。

图 4-53　集装箱龙门吊外观

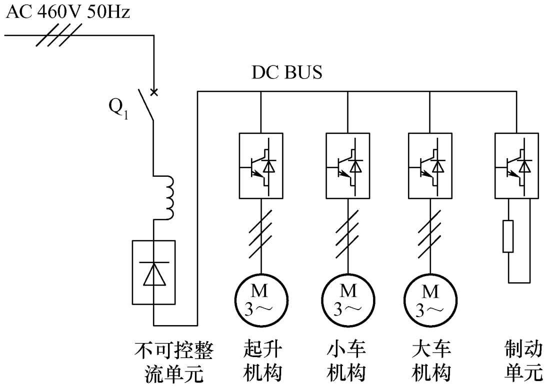


图 4-54　改之前传统龙门吊传动机构主回路示意图

采用能量回馈装置对传统龙门吊进行节能改造后，龙门吊传动机构主回路示意图如图 4-55 所示。在对原系统改动最小，且尽可能提高系统可靠性的原则下，只需要将点画线框内的内容加装到龙门吊传动机构中。节能改造后，龙门吊可以工作在两种模式下：

1）能量回馈装置投入模式，开关 K_1 断开 K_2 闭合，原系统中不可控整流单元被旁路，

以能量回馈装置作为变频器的直流电源，可将制动能量回馈到交流电网。

2）能量回馈装置不投入模式，开关 K1 闭合 K2 断开，能量回馈装置被旁路，以原不可控整流单元作为变频器的直流电源，制动能量通过制动电阻以热的形式消耗掉。此模式为改造前传统工作模式。

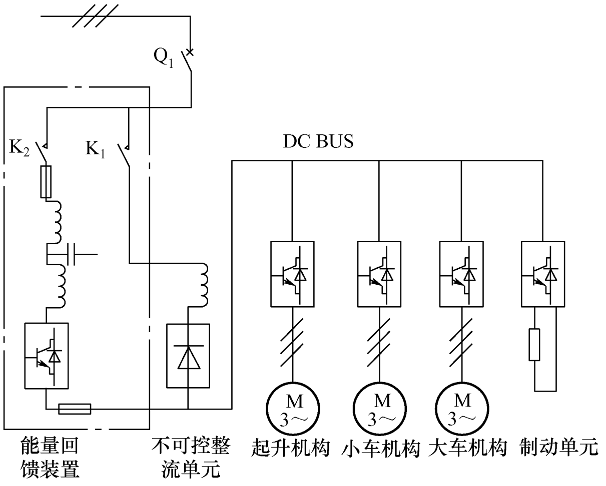


图 4-55　节能改造后龙门吊传动机构主回路示意图

图 4-56 为某集装箱码头厂内配电和集装箱滑触线龙门吊配电系统示意图。

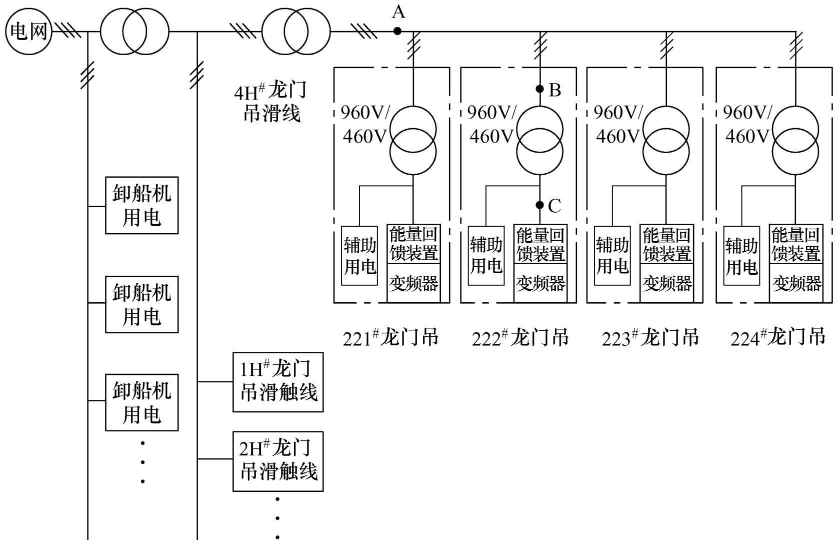


图 4-56　某集装箱码头厂内配电及龙门吊示意图

图 4-57 所示为节能改造后，从某一台龙门吊的角度上看，回馈的电能流向共有三个方向：

1）回馈电能流向本条滑触线其他龙门吊使用的电能，是龙门吊回馈电能被使用最多的流向。对应的具体工况为下放重物的龙门吊回馈的电能被其他提升重物消耗电能的龙门吊

使用。

2）回馈电能流向本台龙门吊辅助用电使用的电能，主要是本机空调、照明、控制用电和风扇等用电设备，占回馈的电能的比例较小。

3）回馈电能流向本条滑触线以外的能量电能，主要是当本条滑触线龙门吊回馈的电能没有在本条滑触线内使用完，经过箱变，被厂内其他滑触线龙门吊和其他用电设备使用的能量。

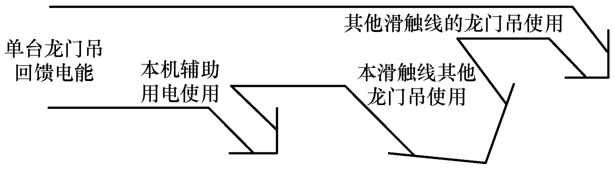


图 4-57　单台龙门吊回馈电能流向示意图

案例 93　液压系统的节电

1. 概述

传统液压系统的设计主要考虑系统的工作能力、可靠性及成本，不太注意系统的效率。系统的效率大多在 50% 左右，造成能量损耗过大，因此其节能的潜力很大。而造成液压系统效率低的根本原因是功率不匹配，即系统的输出压力 P_s、输出流量 Q_s 与执行元件所需的压力 P_L、流量 Q_L 不匹配。当流量不匹配，$Q_S > Q_L$ 时，则产生溢流损耗；当压力不匹配，$P_S > P_L$ 时，则产生压力损耗。因此提高液压系统效率的基本途径，是使系统的输入功率与执行元件的输出功率相匹配，功率匹配程度愈高，系统效率愈高。

2. 变量泵液压系统的节电

在负载变化的系统中，采用定量泵不会有很高的效率，此时可采用变量泵来调节其压力与流量，使其尽可能满足负载的需要。如限压式变量泵驱动回路，具有按负载压力自动调节流量的特性，是一种流量匹配回路，容积效率较高；而恒功率变量泵驱动回路，是利用恒功率变量泵实现流量自动跟随泵的输出压力变化，可给出近似恒功率输出特性。

图 4-58 所示的功率匹配回路是在变量泵的基础上安装功率匹配阀的功率匹配回路，这种回路可实现泵的输出压力、流量分别和负载需要的压力、流量相匹配。

1）流量匹配过程：当泵的输出流量 Q_S 大于负载需要的流量 Q_L 时，节流阀两端压力差增大，负载传感阀 A 的阀芯被推向右端，压力补偿阀 B 的阀芯不动，这时压力油经油路 a、b、c、d 进入变量缸，推动活塞左移，使斜盘式轴向柱塞泵的斜盘倾角减小，泵的流量相应减少，实现了泵的流量与负载流量相匹配；反之当 $Q_S < Q_L$ 时，A 阀阀芯在弹簧力的作用下复位，B 阀阀芯位置不动，油路 d、e、f 连通并接油箱，变量缸活塞在弹簧力的作用下右移，斜盘倾角增大，泵的流量随之增大，仍保持流量匹配。

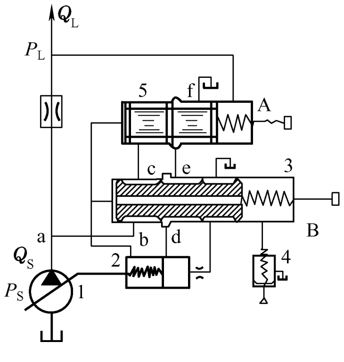


图 4-58　功率匹配回路

1—变量泵　2—变量缸　3—压力补偿阀 B
4—先导阀　5—负载传感阀 A

2）压力匹配过程：当执行元件的负载增大时，A 阀的阀芯左移，B 阀阀芯位置不动，按照压力取决于负载的原则，泵的输出压力相应增加，但 P_S 与 P_L 始终保持节流阀的差值，即 $P_S = P_L + \Delta P$，如果 P_S 增加到先导阀 4 的调定压力，则阀 4 开口溢流，B 阀阀芯右移，压力油经 a、b、d 油道进入变量油缸右腔，使斜盘倾角减小，泵只输出补充泄漏的微小流量，同时泵保持先导阀设定的最高压力，实现限压和保压。反之，当执行元件负载减小时，A、B 阀阀芯均不动，泵输压力相应降低，P_S 和 P_L 仍保持 ΔP 的差值。

因此，负载传感功率匹配回路除了在工作状态能按负载要求输出相适应的功率外，更重要的是限制了待命状态时压力和流量以及保压状态时的流量，从而控制和降低了功率消耗。功率匹配回路有多种形式，但其基本原理都是由负载传感阀 A 与压力补偿阀 B 相组合，对变量泵进行组合控制。当回路工作时，负载传感阀 A 分别对 P_S 和 P_L 进行检测，将压差提供的反馈信号，引入变量泵，实现泵的输出功率与负载功率相适应。

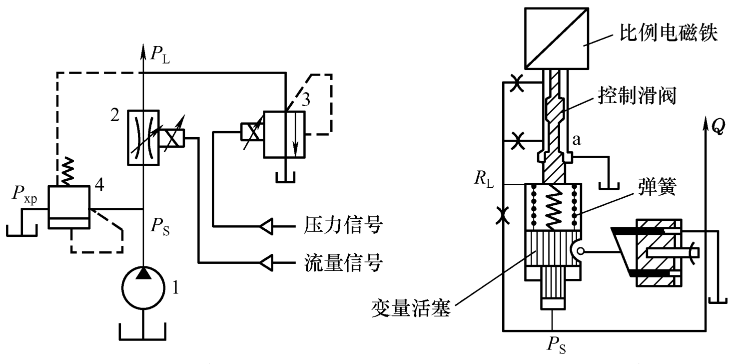
3. 电液比例控制驱动回路的节电

电流比例控制回路能按输入给比例电磁铁的电信号，连续、按比例地控制泵的输出压力、流量，使与负载需要的压力、流量匹配。

图 4-59a 是一种定量泵与比例先导阀组成的压力匹配回路。比例先导阀按输入电信号，经由主溢流遥控口，控制泵的输出压力 P_S，使之与负载压力 P_L 相匹配；比例节流阀按输入的电信号，控制节流口通流面积 a，从而控制通过节流阀的流量，使之与负载流量相匹配。

变量泵系统中的电流比例控制功率匹配回路，是指用比例技术控制变量泵实现功率匹配，按照泵的输出参数不同，可分为电液比例控制的流量泵、压力泵和压力-流量复合泵。

图 4-59b 为电液比例控制流量泵的工作原理图，该回路由变量泵和电液比例控制机构两部分组成。当电信号输入比例电磁铁时单边控制滑阀使节流口 a 增大，由图可见变量活塞上腔的压力下降。在下腔压力作用下，变量活塞上移，通过杠杆使斜盘倾角减小，即泵的流量减少，实现了泵的输出流理跟随输入信号变化。另一方面，活塞的位移，经弹簧力反馈，使节流口 a 关小而恢复平衡。同时，弹簧力与电磁力相平衡，变量活塞达到一个新的平衡位置。



a) 电液比例控制回路　　b) 电液比例控制流

图 4-59　电液比例控制

1—定量泵　2—比例节流阀　3—比例先导阀　4—主溢流阀

案例 94　紧密纺细纱机的节电

1. 概述

紧密纺是在改进的新型环锭细纱机上进行纺纱的一种新型纺纱技术。其纺纱机理主要是，在环锭细纱机牵引装置前增加了一个纤维凝聚区，基本消除了前罗拉至加捻点之间的纺纱加捻三角区。纤维须条从前罗拉前口输出后，先经过异形吸风管外套网眼皮圈，须条在网眼皮圈上运动，由于气流的收缩和聚合作用，通过异形管的吸风槽使须条集聚、转动，逐步从扁平带状转为圆柱体，纤维的端头均捻入纱线内，因此成纱非常紧密，纱线外观光洁、毛羽少。图 4-60 所示为紧密纺装置。

图 4-60　紧密纺装置

为研究影响 DTM129 型紧密纺细纱机耗电量的因素，分别对紧密纺主电动机和紧密纺叶轮直径进行了试验分析。选用 6.3kW 和 5.5kW 的紧密纺主电动机进行对比研究，测试结果见表 4-8。

表 4-8　紧密纺主电动机功率测量

额定功率/kW	平均电流/A	平均电压/V	功率因数	实测功率/kW
6.3	6.6	351	0.9	3.61
5.5	6.3	354	0.9	3.48

由表 4-8 可见，两种电动机的功率消耗相近，表明主电动机不是影响耗电的主要因素。对紧密纺装置中叶轮直径对能耗的影响进行了分析，结果见表 4-9。

表 4-9　紧密纺装置叶轮直径对耗电量的影响

叶轮直径/mm	平均电流/A	平均电压/V	功率因数	实测功率/kW	平均负压值/kPa
98	6.84	349.7	0.9	3.73	2.8
107	10.61	356	0.9	5.89	3.1

通过对比 98mm 和 107mm 叶轮直径的实测功率发现，前者的能耗比后者显著降低约 37%，表明紧密纺装置本身是影响耗电量的主要因素。

2. 紧密纺技术改造方案

目前紧密纺主电动机的带轮直径为 125mm，为研究其对紧密纺纱机能耗的影响，分别制作了直径 120mm、115mm、109mm 的带轮，用 CJ14.5tex 纱线进行试验，试验结果见表 4-10。

表 4-10　带轮直径对负压电流的影响

带轮直径/mm	平均负压/kPa	电流/A
125	3.02	9.8
120	2.9	8.6
115	2.7	7.25
109	2.4	6.5

研究发现，109mm 直径的带轮有个别锭子负压值达不到要求，直径 115mm 及 120mm 的带轮负压均能达到要求。测试数据显示，直径 115mm 比直径 120mm 的带轮节电 26%，直径 120mm 比 125mm 的带轮节电 12%。不同的带轮对管纱和筒纱质量指标的影响结果见表 4-11 和表 4-12。

表 4-11　CJ14.5tex 管纱质量指标

项　目	带轮直径/mm			
	125	120	115	109
条干 CV/(%)	12.67	12.65	12.52	12.64
CV_b	2.0	1.6	1.9	1.9
-50%细节/个·km^{-1}	2.3	2.3	1.5	3.5
+50%粗节/个·km^{-1}	14.5	10.8	13.5	13.8
+200%棉结/个·km^{-1}	38.8	35.8	32.8	30.0

表 4-12　CJ14.5tex 筒纱质量指标

项　目	带轮直径/mm			
	125	120	115	109
条干 CV/(%)	12.99	12.97	12.96	13.10
CV_b	2.2	1.6	2.1	2.2
-50%细节/个·km^{-1}	2.8	4.8	3.3	5.8
+50%粗节/个·km^{-1}	16.3	16.0	15.5	19.5
+200%棉结/个·km^{-1}	39.0	40.3	50.8	45.5
毛羽指数 H	3.28	2.98	2.99	3.14
强力 CV（%）	10.5	6.1	8.0	7.9
最低强力/cN	184.4	210.0	189.6	199.6
平均强力/cN	245.2	251.6	250.3	247.4

由表 4-11 和表 4-12 可见，4 种带轮直径下的管纱指标都比较稳定，但紧密纺带轮直径 115mm 和 120mm 的筒纱棉结指标稍差；而带轮直径为 109mm 时，除强力外，其余各项指标均较差。综合考虑，紧密纺细纱机主电动机的带轮直径选定为 115mm。

案例 95　电动缝纫机的节电

1. 概述

电动缝纫机是服装生产的主要设备之一，它由电源开关、脚踏板、缝纫电动机、缝纫机头等部件组成。其中，缝纫电动机由电动机、靠背轮和离合器等组成，离合器一方面与脚踏板连接，另一方面通过传动带与缝纫机头连接。

通常，缝纫机工作的步骤是，打开电源开关，缝纫电动机旋转并进入空载运行，踩下脚踏板，离合器与缝纫电动机内的靠背轮接触，离合器开始旋转，离合器旋转后经过传动带的传动使缝纫机头旋转，缝纫机头旋转使缝纫机进入带负载运行。

2. 存在问题及节电方法

（1）存在问题

分析缝纫机工作步骤可以看出，在打开电源开关后，缝纫电动机即刻旋转进入空载运行，这种现象在生产过程中经常发生，比如存、取衣片的间隙，或操作工离开工作岗位而忘记关掉电源等情况，使缝纫电动机处于空载运行，造成电能的浪费。

（2）解决办法

采取的技术解决措施是，在脚踏板上开一个孔，用于安装光电开关，把原来缝纫机电源开关内电动机的导线断开，接入一个交流接触器，再利用一个中间继电器和一个直流电源通过图4-61所示的电路连接。

它的工作原理和工作过程是，合上缝纫机电源开关S，缝纫电动机M不转动，此时缝纫电动机处于待机状态，当操作工脚踩在脚踏板上遮挡光电开关GK后，中间继电器KA吸合，之后KA-1触头闭合，使交流接触器KM吸合，交流接触器KM主触头闭合，接通电源主回路使缝纫电动机M通电旋转，操作工随即踩下脚踏板使缝纫机工作。

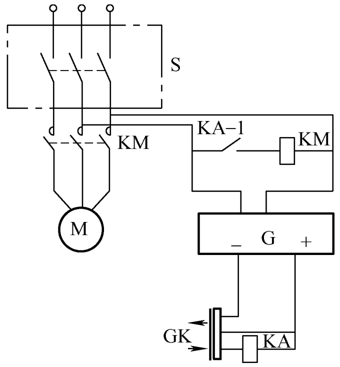


图4-61　电器原理图
S—缝纫机电源开关　KM—交流接触器
KA—中间继电器　G—直流电源
GK—光电开关　M—缝纫电动机

如果操作工离开缝纫机，光电开关GK不被遮挡，中间继电器KA断电，中间继电器触点KA-1触头断开，使交流接触器KM释放，缝纫电动机M断电，达到减少缝纫机空载运行，节约电能的目的。该装置原理简单，易于安装，其光电开关也可采用脚踏开关或其他开关。操作工普通反映该设备使用方便。通过对安装节电装置的电动缝纫机和对原电动缝纫机进行用电量测量，安装节电装置的电动缝纫机每天平均可节电0.3kW·h（度）左右。

案例96　塑料薄膜设备加热器的节电

1. 概述

对于塑料薄膜行业来说：所使用的机械加工设备用电主要是电动机，加热、冷却系统等。其中电能约有2/3用于电动机，1/3用于加热。通过对国内一些大型吹塑农膜厂的吹膜机进行加热节电改造后的监测数据来看，每吨制品单位能耗可由原来500kW·h降低至240kW·h左右；加热部分节电率达75%以上，整机节电30%左右。

以传统电阻式机筒加热方式为例，其电阻式加热方式的原理：电阻丝产生的热量，经过导热绝缘材料→加热管外壳→电阻加热圈的铝壳→料筒，这样热量经过多次热传递和热辐射后，传给机筒的热量不到40%，造成能量的严重浪费。如图4-62所示传统电阻式机筒加热方式。

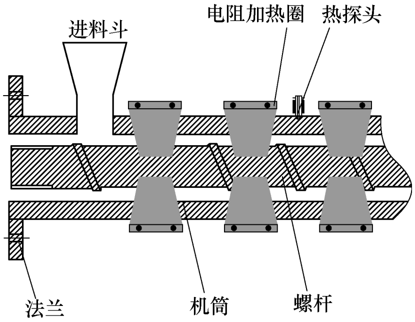


图4-62　传统电阻式机筒加热方式

电阻式加热方式存在的弊端：

1）热损失大：热量经过多次热传导、热辐射使得热效率低于40%，造成能源的极大浪费。

2）机筒存在温差：由于机筒受热不均匀，塑化不完整，影响产品的质量。

3）影响工作环境：电阻加热圈的热量大部分散失到空气中，使周围温度升高，恶化生产环境。

4）使用寿命短、维修量大：利用电阻丝加热，当加热温度达300℃左右时，电阻丝极易因高温老化而烧断，因此维修、更换的工作量增加。

2. 节能高效加热器机筒的加热方式

为了解决电阻式加热方式造成能源严重浪费这一难题，图4-63所示为高效加热节能机筒的加热方式示意。

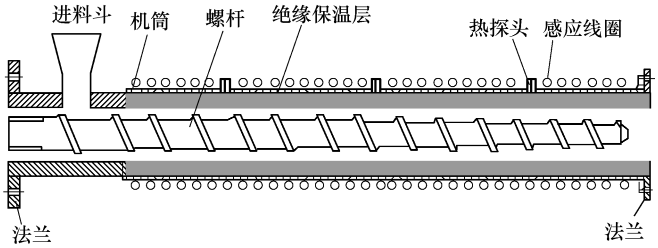


图4-63 高效加热节能改造后机筒的加热方式

高效加热节电技术的工作原理：利用电力电子技术和电磁兼容技术，将电能转换为磁能，使被加热设备，如机筒的金属直接发热，这是一种电磁加热方式。

案例97 电弧炉的节电

1. 概述

图4-64所示的电弧炉是利用电极电弧产生的高温熔炼矿石和金属的电炉。气体放电形成电弧时能量很集中，弧区温度在3000℃以上。对于熔炼金属，电弧炉比其他炼钢炉工艺灵活性大，能有效地除去硫、磷等杂质，炉温容易控制，设备占地面积小，适于优质合金钢的熔炼。电弧炉炼钢是通过石墨电极向电弧炼钢炉内输入电能，以电极端部和炉料之间发生的电弧为热源进行炼钢。电弧炉以电能为热源，可调整炉内气氛，对熔炼含有易氧化元素较多的钢种极为有利。

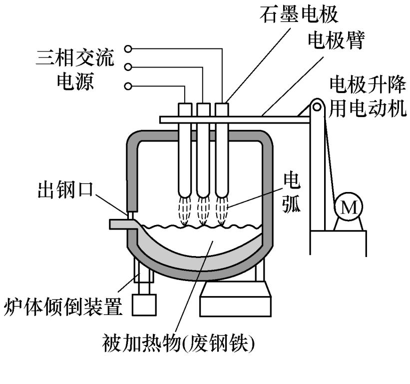


图4-64 电弧炉的工作原理

2. 利用能量平衡理论对电弧炉进行节电改造

某铸钢车间30t、50t电弧炉自近年投产以来，两台电炉平均电耗均在600kW·h/t（考虑电价及铸造造型周期原因，炼钢生产为非连续生产，均在晚间电价峰谷时段进行）。电弧炉冶炼过程中能量的输入与支出可以用图4-65所示。

技术人员结合生产的实际情况，通过对电弧炉炼钢过程中能量的来源及支出进行细化分解，利用能量平衡理论对两台电弧炉能量转化进行系统分析，完善设备性能、制定供电制度、改进冶炼操作工艺，最大程度的利用有效能源，减少不必要的热损失。

具体措施如下：

（1）优化供电制度，挖掘变压器潜力

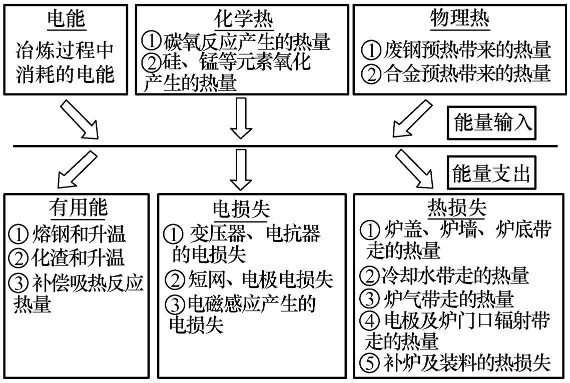


图 4-65　电弧炉冶炼过程能量输入及支出图

降低电耗就必须提高变压器额定功率，且缩短冶炼时间。30t 电弧炉及 50t 电弧炉变压器容量分别为 22MVA 及 32MVA，均为有载调压并可长期超载 20%，在冶炼时充分考虑穿井时及熔清后电弧特性，合理调节电流、电压及阻抗。

（2）提高化学热 Q_C，提高碳氧枪使用效率

电弧炉冶炼过程伴随着大量的化学反应，钢中的碳、硅、锰、铬、铁、磷等元素被氧化过程中会放出化学反应热，促使钢液升温。化学反应热量的大小，主要由吹入的氧量、元素的氧化数量及其热效率所决定。每吨炉料中氧化 0.1% 元素时所放出的热量，生成的渣量和所需的氧气量见表 4-13。

表 4-13　元素氧化后放出热量的情况

元素（0.1%）	C	Si	Mn	Fe	Cr	V	Al	P
放出的热量/MJ·t^{-1}	18.63	31.94	6.57	4.25	4.26	11.37	28.26	23.41
相当于电能/kW·h·t^{-1}	5.16	8.84	1.82	1.18	1.18	3.14	7.83	6.48
升高的温度/℃·t^{-1}	22.3	38.3	7.8	5.12	5.13	13.65	34.1	28.2
需要氧气量/m^3·t^{-1}	0.93	0.81	0.24	0.20	0.315	0.33	0.616	0.904

由表 4-13 可知，提高废钢中 C、Si、Mn 可以节省电耗。该车间现阶段使用的废钢中平均（C）=0.30% 左右，（Si）=0.30% 左右，（Mn）=0.70% 左右，偏心底电弧炉作为粗炼炉时，冶炼结束后，（C）=0.10% 左右，Si、Mn 基本被氧化完，可代替电耗 50kW·h/t 左右。此外，增加冶炼过程中喷入碳粉及氧气量也是节电的重要手段。该公司两台电炉炉前均配备碳氧枪，冶炼过程中按每吨钢 10kg 喷入碳粉（增加碳含量 1%），装料时配碳至 1.4%，终点碳平均控制在 0.10% 左右。即用于升温的碳含量为 2.3%，参照表 4-13 可知，氧化 2.3% 的碳可节省电耗 118.68kW·h/t。此外，生成大量 CO 使炉渣呈泡沫状，便于实现埋弧，可以采用长弧操作，增加输入功率及提高功率因数，缩短冶炼时间，并减少电弧对炉衬的热辐射。

（3）提高物理热 Q_P，合理进行废钢及合金预热

物理热是指热的废钢、合金、钢渣等材料带入炉内的热量，提高物理热可以降低吨钢电

耗。我们通过提高合金烘烤温度，并在因设备或生产节奏原因需短时间停炉时，及时为下一炉续料，以用炉衬的热量预热第一罐废钢。通过反复测温，50t 电弧炉炉衬预热 20t 废钢 10h，废钢温度可达 100℃左右，可节省电耗约 33kW · h/t。另外，提高合金烘烤温度也是提高物理热的重要手段。

（4）降低电损失 Q_D，提高电能利用率

电弧炉冶炼过程中所需的电能，从高压电缆经过变压器、电抗器，通过短网送到电极下端，在这一线路中损失掉的电能统称为电损失。线路中的电阻越大，电损失就越大。此外当电流通过短网时，在靠近短网的磁性导体内形成的涡流也是电能损耗的一部分。

（5）降低热损失 Q_R，提高能源利用率

热损失是指由于出现温度势差，炉体各部位通过传导、对流、辐射等形式向外散失而损失的热量。

（6）合理控制渣量及钢水过热度，降低有用能 Q_E

有用能是冶炼每吨钢水所必需的能量，主要包括：熔化废钢并将钢液加热到出钢温度所需的能量；熔化渣料并将渣料加热到反应温度所需的能量。当钢的含碳量为 1.5%、渣量为 5%，钢液过热 100℃时，熔化每吨钢所需的有用能见表 4-14。

表 4-14　熔化每吨钢所需的有用能　（单位：kW · h）

项　目	参　数
熔化每吨钢所需的电能	354
钢水过热 100℃所需电能	23
熔化渣所需电能	29
共计	406

从表 4-14 可以看出，降低有用能就必须减少渣料，提高热渣利用率并降低出钢温度。冶炼过程中每次换渣将带走大量热量，造新渣时又增加有用能的支出。经过多炉次总结，掌握换渣量与除磷量的相对关系，根据工艺磷含量，合理控制换渣量，达到降低有用能的目的。

案例 98　节能型红外线烘燥机的选用

1. 概述

节能型红外线烘燥机主要用于化纤织物的热熔染色和树脂整理的预烘，如图 4-66 所示。其工作原理是，利用辐射传热方式来进行烘燥。不需要其他物质媒介，即能通过织物表面进入内部，使织物的温度内外同时迅速升高，可在很短时间内进行烘燥。因此，红外线辐射器本质上就是以电热石英管式红外线辐射器，以电作为能源。其特点：烘燥均匀，不易出现色差和表面树脂。

2. 节能型红外线烘燥机的使用

节能型红外线烘燥机的使用方法如下：

1）必须调节各种红外线辐射器辐射材料适宜温度，使其辐射出能为湿纺织品上水分强烈吸收的波长的红外线，以获得较高的热效率。

2）各种电热红外线辐射器都须配置调压器调整辐射器电热丝的温度，以获得所需的辐

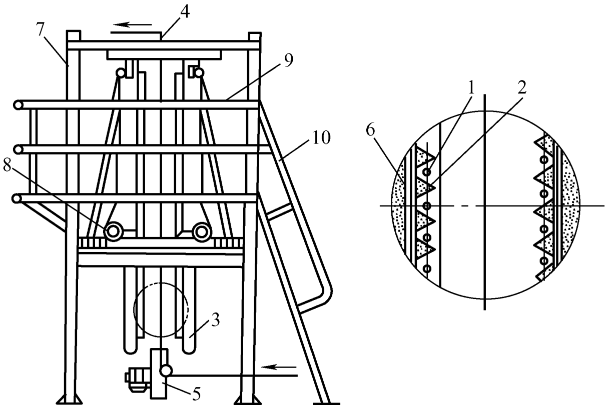


图 4-66　节能型红外线烘燥机

1—石英管（共 16 支）　2—反射罩　3—反射罩架　4—主动导辊　5—鼓风机
6—隔热层　7—机架　8—反射罩移动装置　9—安全栏杆　10—梯子

射波长和辐射功率的红外线。

3）辐射体温度下降，辐射红外线波长及其辐射功率均有所增加，有利于纺织品烘燥；但总辐射功率却因温度下降而相应减小。因此，对辐射体温度，红外线波长，总辐射功率，辐射面积以及能量损失等应作全面权衡。

4）须按烘燥过程中织物含水量变化情况和运行布速，控制备组辐射器的辐射强度，以免辐射区的织物含水率过低而使织物迅速升温乃至受到损伤。

5）块状辐射器的辐射面不宜距织物太近，以免加热烘燥不匀。

6）陶瓷辐射板容易碎裂，热时不能沾冷水冷液，更应避免撞击。

7）为使燃气式辐射器的辐射强度稳定，其气源管道上应装设稳压装置。

8）为防止运转中停机处理故障或突然断电停机时，织物停留在辐射区受损，宜采用活塞气虹自动移开辐射器。

9）对一些原有近红外线辐射元件，可在其辐射面上涂覆适宜的高辐射材料，改装为远红外线辐射元件使用。

案例 99　涂装烘干炉加热能源的改造

1. 设备概况

原烘干炉采用电加热，加热系统分为三大部分，如图 4-67 所示。从图中可知，原烘干炉为保证温度的均匀性，采用分散加热和集中加热相结合的方式。烘炉两侧采用分散加热，加热元件为远红外辐射板，每侧有 32 块远红外辐射板，每块功率是 3kW，共计 192kW；烘炉端部设置集中加热箱，加热管安装在加热箱上部，循

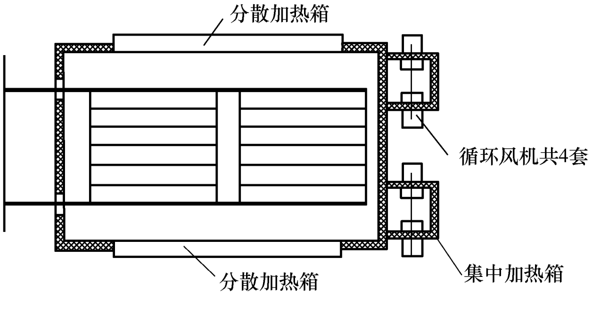


图 4-67　原烘干炉加热系统分布图

环风机安装在加热管下部。加热箱内有 196 根电加热管，每根 3kW；共计 588kW；整个烘干炉加热功率为 780kW。

2. 改造方案的设计

衡量烘干炉性能的主要指标是炉温均匀性和控温精度。加热系统改造后，系统必须保持炉温均匀、控温精度高。一般情况下，油漆烘干炉的炉温均匀性要求≤±5℃，控温精度≤±1℃。由于天然气的热惯性比电加热小得多，而且具有较高的燃气流速度，增强了传热效果，因此烘干炉改为天然气加热时，其加热功率可以适当降低，只需采用集中加热即可。改造后的烘炉结构如图 4-68 所示。

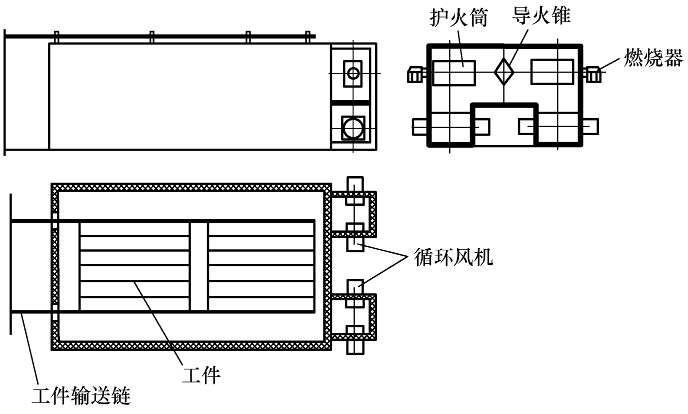


图 4-68　改造后的烘炉结构图

由图 4-68 中可知，改造后烘干炉采用集中加热方式，天然气经过燃烧变成高温气体，通过循环风机均匀送到炉体的各个部位。

（1）炉温均匀性的保证措施

为保证炉温的均匀性，在改造前进行了多项模拟试验，最终确定了烘干炉的加热方式：去掉炉体两侧的加热板，将炉体两侧的保温层加厚以保证炉体两侧的保温效果。在炉体端部做天然气集中加热箱，改造炉内送风管路以确保炉内温度的均匀性。

（2）控温精度的保证措施

为保证控温精度，特别定制了意大利生产的比例控制式燃烧器，燃烧量调节比可达 1∶10，通过 PID 比例调节，使炉内温度得到精确控制 1。

（3）节能效果的保证措施

考虑节能因素，在烘干炉进出口处增加风幕以减少热量损失。

改造前对烘炉的温度均匀性进行了 13 点测温，由于烘炉体积较大，将 13 个测温热电阻布置在烘炉内工件堆放的有效区域内，炉内温度测试结果为 120±5℃；改造后重新进行了测试，测试结果为 120±4℃；控温精度<±1℃。生产出的产品经过划格试验和冲击试验，各项性能指标均满足用户要求。

改造前后的能耗对照见表 4-15。

表 4-15　改造前后的能耗对照

性　　能	改造后的能耗	原有设备能耗
能源	天然气	电
最高温度/℃	120	120
升温时间/min	约 30	约 30
每小时能源最大耗量	$96m^3$	780kW
每小时能源平均耗量	$52m^2$	380kW
每小时运行成本/元	104（2.00 元/m^3）	228（0.6 元/kW·h）
每年运行成本/万元（年时基数 1920h）	19.96	43.77

案例 100　焊管横移车的节电

1. 设备概况

横移车主要用于钢管在生产线各工序间的横向输送，分为四轮和八轮两种车型。四轮横移车主要用于钢管在辊道两侧、辊道与旋转辊或台架之间的输送；八轮横移车主要用于钢管在焊接区和检验区的输送，便于通过与焊接车或检测车相交叉的轨道。目前大直径焊管生产线上普遍采用的横移车主要由小车车体、驱动机构、车轮、液压升降机构、缓冲装置、检测装置和行走到位极限保护装置等组成。

以某厂使用的横移车为例，其主要技术参数如下。

行走速度：8～20m/min；

托运钢管的直径：406～1 422mm；

托运钢管的长度：8～12.2mm；

最大承载质量：17.5t。

横移车通过齿轮齿条传动或齿轮减速机传动，在 H 型钢轨上移动。多年的使用实践证明，采用齿轮齿条传动的横移车运行稳定性更好，不打滑、不窜动。横移车工作过程如下：横移车行走至待运钢管位置，车两侧的两个液压缸活塞杆分别带动同侧的一个 V 形托架上升，将钢管托起，横移车开始移动，将钢管运至需要位置，V 形托架落下，钢管被放置在预定位置，横移车返回至原始位置。

通常横移车有手动、半自动和自动三种操作模式。手动模式下，操作人员操作十字开关控制横移车的进退和托架的升降；半自动模式下，当满足运送条件时，横移车自动将钢管从一个工位运送到另一个指定的工位；自动模式下，由程序判断和执行全自动运送钢管到相应的位置。正常生产时，横移车运行在自动模式下。

2. 横移车液压泵控制方式及存在问题

由于大直径焊管生产线使用横移车的数量比较多，所有横移车上液压站液压泵电动机的总容量也很大。根据大直径焊管生产工艺流程中的生产节拍，横移车每次用很短时间托举钢管进行运送，然后等待较长时间至下一根钢管到来后再进行运送。在等待的这段时间内，横移车液压泵电动机基本处于空载运行状态，卸荷阀得电，液压系统空载卸荷。笔者通过对多家焊管企业了解得知，这些企业大都未对横移车液压泵电动机的运行采取节电控制方式。这种运行状况造成了大量电能的浪费。某厂拥有一条 JCOE 大直径直缝埋弧焊管生产线，2009

年全年共生产各种规格钢管21.8万t，总计36 295根，平均每天生产钢管约100根。整条生产线共有20台钢管横移车负责各工位间钢管的输送，每台横移车液压站液压泵电动机的功率均为30kW，空载卸荷电流约24A，总功率为600kW。该生产线的生产节拍使得横移车负载运行少于10min/h，约有50min/h处于等待时间。对生产一根钢管时不同生产区域的9台横移车运管和等待时间进行了统计，并计算出每台横移车一天内的等待时间，结果见表4-16。

表4-16　横移车运管和等待时间

横移车编号	所在区域	运管时间/s	等待时间/s	全天等待时间/h
2#	预焊	55	809	22.47
4#	内焊	60	804	22.33
7#	外焊	40	824	22.89
10#	过跨	90	774	21.5
11#	手探	120	744	20.67
14#	平头	100	764	21.22
16#	倒棱	40	824	22.89
17#	连探	110	754	20.95
18#	成品台	40	824	22.89

注：全天等待时间（h）=24h－每根钢管运送时间（h）×100根，其中24h为每天生产时间，100根为每天平均生产钢管数量。

从表4-16可以看出，每台横移车每天平均约有22h处于等待时间。通过计算可知，每天每台横移车等待时间所消耗的电能约238kW·h（$P=1.732UI\cos\varphi$，其中$U=400V$，$I=24A$，$\cos\varphi=0.65$，此处未计算无功电流产生的系统损耗）。显然，生产线全部20台横移车每天液压泵电动机空载卸荷的运行损耗了大量电能，如果让操作工在钢管生产过程中反复起停液压泵电动机也是很难实现的，因此有必要根据横移车的运行状况应用节电控制技术，以达到节能降耗的目的。

3. 横移车节电技术

要避免和减少横移车液压泵电动机在等待时间内的空载卸荷损耗，就要使液压泵电动机在等待时间内能够自动停机，同时要保证钢管托运时液压泵电动机又能及时自动起动。于是在横移车西门子S7-300程序中做适当控制，横移车液压泵电动机起停控制程序如图4-69所示。

由图4-69可知：当横移车将钢管运至需要位置，两侧V形托架降落到“托架下限位”后30s，自动延时停泵动作，断开液压泵电动机运行。当满足“自动运行条件”时，要求托运钢管时“托架上升”导通，同时“液压泵电动机运行”动作，即液压泵电动机开始自动起动进行托管运送工作。在“手动模式”时，操作“托架上升”按钮，液压泵电动机也能够起动，进行钢管的托运工作。

案例101　卧螺离心机的节电

1. 设备概况

卧式螺旋卸料沉降离心机（简称卧螺离心机）按流动方式分可分为逆流式和并流式两

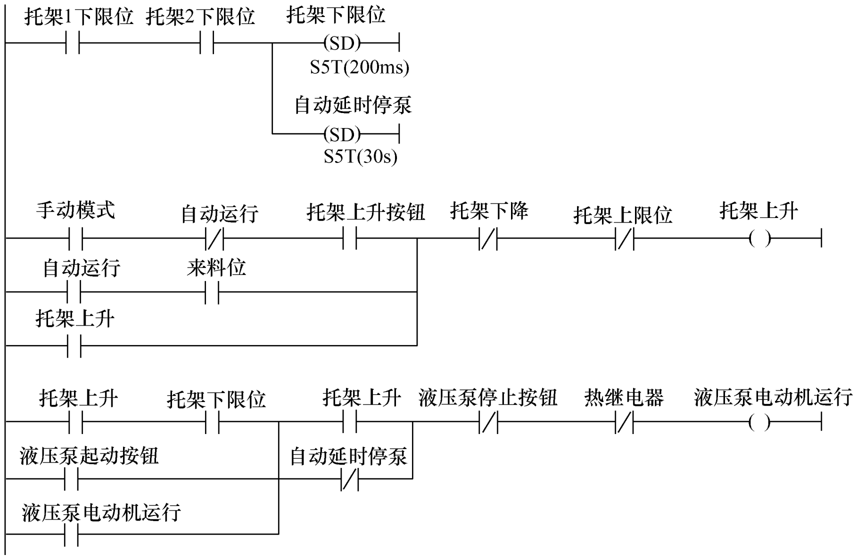


图 4-69　横移车液压泵电动机起停控制程序图

种，按分离相数分可分为两相分离型和三相分离型，按结构划分又可分为普通型、防爆型和密闭型三种。它是一种使用面很广的离心机，主要用于获得较干的滤饼（固相脱液）或较清的分离液（液相澄清）。

该离心机利用悬浮液中固、液相密度差，在转鼓高速旋转所产生的离心力场中使固相迅速沉降于转鼓壁，从而使固液两相分离。转鼓前方设计有一个锥段，根据物料性质的不同，按照设定的速度高速旋转，物料在转鼓内壁以设计速度旋转，沿着转鼓壳体形成一同心液层，称为液环层。物料内所含的固体在离心力的作用下沉积到转鼓壁上，再通过螺旋的运转将干物料推出转鼓。转鼓的运转速度直接决定分离因数，而螺旋的速差则直接影响被输送到转鼓外的固体含水率。它对处理量、停留时间和固体排出都有直接影响。

图 4-70 所示为离心机起动后，悬浮液（物料）由进料管加入螺旋内筒，进而流入转鼓，在离心力作用下固相沉降到转鼓壁上，由螺旋输送器将其推向转鼓小端从出渣口排出，澄清的液体从转鼓大端的溢流口溢出。离心机连续进料、连续分离、分离液和沉渣分别连续排出。

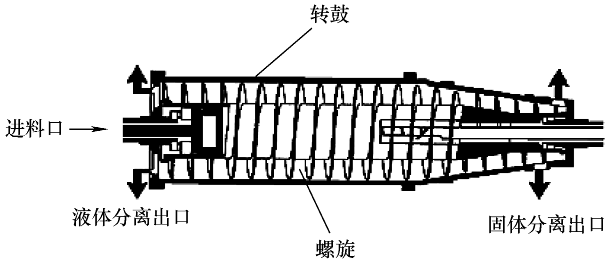


图 4-70　卧螺离心机示意

2. 卧螺离心机的节电

在驱动方式上，卧螺离心机产品国内与国外有较大的差异。国内离心机驱动方式通常较为单一，采用最多的驱动方式为双电机结构，即一台电机（通常为变频电动机）通过传动带直接驱动转鼓产生转动，另一台电机通过减速器（差速器）驱动螺旋。根据离心机的工作原理，图 4-71 中主电机处于电动机状态，副电机处于发电机状态。

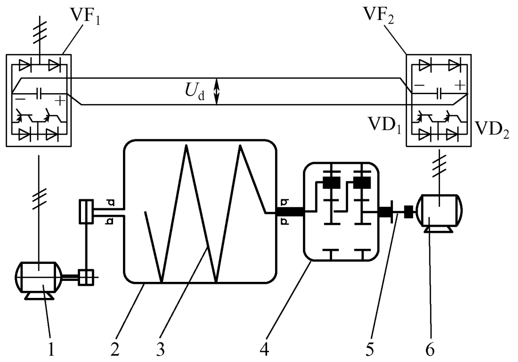


图 4-71 卧螺离心机双变频驱动结构

VF_1—主变频器 VF_2—副变频器

1—主电机 2—转鼓 3—螺旋 4—差速器 5—差速器小轴 6—副电机

对于卧螺离心机的双电机驱动，一种方法是用普通变频器驱动副电机，再生能量以热能的形式消耗在制动电阻上；另一种方法是，使用带有能量回馈单元的专用变频器驱动，可将再生的电能回送到交流电网，如富士公司的 RHR 系列能量回馈装置，ABB 公司的 ACS811 系列变频器，但价格贵，只在少数场合获得应用（如轧钢、矿山）。

随着电力电子技术的快速发展，近年来变频器的性能价格比大大提高，共母线双电机双变频器驱动在卧螺离心机上广泛应用，即主、副电机各用一台普通变频器驱动，其直流母线用适当的方式并接，较好地解决了这个问题，在能源日益紧缺的今天，有特别重要的意义。

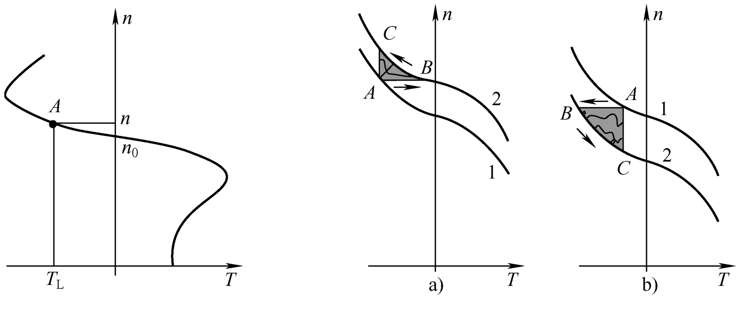


图 4-72 卧螺离心机工作原理

（1）工作过程

由电机学知道，电动机处于再生制动状态的基本特征是，电动机的转子转速超过同步转速 $n > n_0$ 并且两者方向相同，工作点沿着机械特性曲线从第 1 象限向第 2 象限移动，这时电

机产生的电磁力矩的方向和转子转向相反，图4-72 中，A 点对应的电磁力矩 T_L 是制动力矩，用来使离心机螺旋产生足够的推料力矩，其大小是螺旋推料力矩的 i 分之一（i 是差速器速比）。

回馈到电网的定子电流有功分量经图 4-71 中 VD_1、VD_2 全波整流，加到直流母线上，由于主、副变频器的母线并接，该能量就被主电机利用，使母线电压 U_d 维持在 610V 以内，共母线双电机双变频节能建立在此基础上。

（2）差转速的调节

由于螺旋担负着将沉积在转鼓内壁的干泥推出转鼓的使命，因此差转速的快慢直接影响到离心机的产量和分离效果。差转速按下式计算：

$$\Delta n = (n_{鼓} - n_{臂})/i \tag{4-7}$$

式中　Δn——差转速（r/min）；

$n_{鼓}$——转鼓转速（r/min）；

$n_{臂}$——差速器小轴转速（r/min）；

i——差速器速比。

由上式可以看出，由于转鼓转速和差速器速比一般固定不变，因此调节转臂转速即可调节差转速。

差转速的调节是通过改变副变频器输出频率实现。调节过程如下：

设要减小差速，则增加输出频率，在频率刚刚增加的瞬间，由于机械惯性的原因，转速不可能突变，但机械特性已由曲线 1 变为曲线 2，工作点由 A 点跳到 B 点，由于 B 点制动转矩小于 A 点，电机加速，工作点沿着曲线 2 向左移动，在 C 点，力矩重新达到平衡，电机稳定运行在升高的转速上。图中有阴影区域是过渡过程；增加差速的过程如图 4-72 所示。

不难看出，当调速范围较大时，副电机短期将运行于电动机状态。

（3）节能效果

副电机处于发电状态的必要条件是在气隙中建立主磁场，只有这样才能在绕组中感应工作电动势，才能在 $n > n_0$ 的条件下，向网路输送有功电流。但是，副电机本身并不产生建立磁场所需要的励磁无功电流，它将继续从变频器吸取作为电动机工作时同样的空载励磁电流。

案例 102　水泵激波节电器的选用

1. 概述

所谓激波是指气体、液体和固体介质中应力（或压强）、密度和温度在波阵面上发生突跃变化的压缩波，又称冲击波。在超声速流动、爆炸等过程中都会出现激波。爆炸时形成的激波称爆炸波，水管中阀门突然关闭形成的波也是一种激波———水击。在流体输送过程中，特别是水泵出口会产生激波。

它在对设备造成冲击的同时，也增加了流体输送的阻力，使系统能耗增加。激波节电装置安装在水泵出口，将装置出口视为名义泵出口。在名义泵出口处，维持原水泵额定流量、扬程不变。用比原水泵扬程小的水泵替换原水泵，用节电技术装置增加的扬程，补偿新水泵减小的扬程值，并保持节电技术装置出口端总扬程与原水泵总扬程一致。水泵扬程的降低，

可大大降低水泵的轴功率。

泵输出的高流速水进入该装置后，一部分进入回流反击室（水击室），另一部分进入旋流室（高速旋转流动）。其中进入回流反击室内的高速水流，其速度在极短时间内发生很大的变化 Δv。由动量定律 $F\Delta t = m\Delta v$ 和 $F = m\Delta v/\Delta t$ 可知：液体受到装置的压力 F 非常大。压力 F 持续对水流做功，使流体动能逐渐增大，这种状况即是流体力学所述的“水击”现象。液体由于受到巨大的压力被压缩，密度剧增。随着密度和能量的不断增加，在装置的出口，巨大的内能被激发，并与旋流室高速旋转的流体叠加混合。依据流体力学的势流叠加原理可知，叠加后的流体具有更高的能量，高动量的流体从节能装置的出口冲出，达到增加扬程的目的。这部分扬程用于补充水泵总扬程。泵扬程的降低，其所配的电动机功率正比降低，从而达到节电的目的。有害的激波水击现象，通过合理的引导利用，变害为利，达到节能减排的目的。

2. 激波节电技术的使用

激波节电技术使用中存在以下问题：需要更新水泵；水泵出口段有足够的安装空间用来安装激波节能装置；需维持原循环流量和扬程，实施后循环流量不容易改变。水泵激波节电技术装置安装如图 4-73 所示。循环水泵实施激波节电技术后，预测节电率 35%，保守按 32% 的节电率计算。

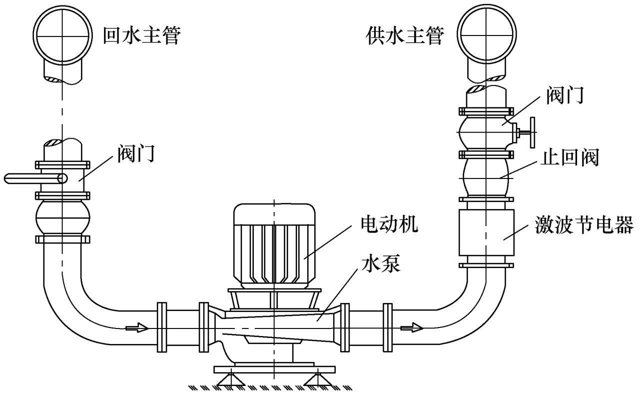


图 4-73　水泵激波节电技术装置示意图

案例 103　高炉铁前除尘风机的变频改造

1. 概述

高炉在生产过程中，出铁场产生大量的烟尘，污染环境，根据国家法规，需要进行除尘处理。除尘风机采用间隙性的工作制度，即高炉出铁时使用，不出铁时不使用，使用率大约在 60% 左右。图 4-74 所示为高炉炼铁出铁场的工艺周期，表 4-17 为除尘风机及配套电动机的参数。

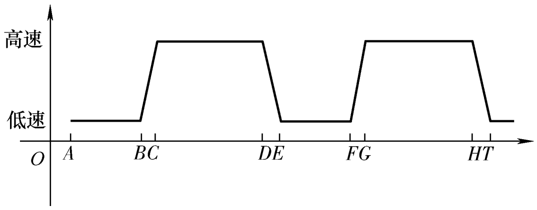


图 4-74　高炉炼铁出铁场工艺周期

图 4-74 中：A 到 B、E 到 F 为高炉冶炼时间；B 到 C、F 到 G 为升速时间，可以调节；C

到 D、G 到 H 为高炉出铁时间；D 到 E、H 到 I 为减速时间，可以调节。

每次高炉出铁时间约 45min，为高速段，定为 45Hz（可以调节）；高炉冶炼时间约 30min，为低速段，定为 5Hz（可以调节）。

表 4-17　除尘风机及配套电动机参数表

风机参数		电动机参数	
型号	YQ-73-11	型号	Y560-8
风量	500000m^3/h	额定功率	900kW
风压	4500Pa	额定电流	110A
除尘方式	脉冲布袋除尘	额定电压	6kV
		额定转速	744r/min

2. 节能改造技术方案

根据上述工艺要求以及除尘风机所配电动机为中压电动机，不允许频繁起停的条件来选择改造技术方案。

如果风机长期处于工频运行状况，通过调节风门的出口挡板开度来调节风量以满足生产工艺要求，则大量电能将白白浪费在阀门节流阻力上。因此采用中压变频器对电动机进行拖动控制最为理想。最终方案选定为变频调速改造。

该变频器每个系统共有 15 个功率单元，每 5 个功率单元串联构成一相，其系统结构如图 4-75 所示。主回路接线如图 4-76 所示，采用变频器带旁路柜的方式控制，当变频器发生故障时可方便地切换到工频运行方式，有效地避免了因变频器故障影响正常生产。

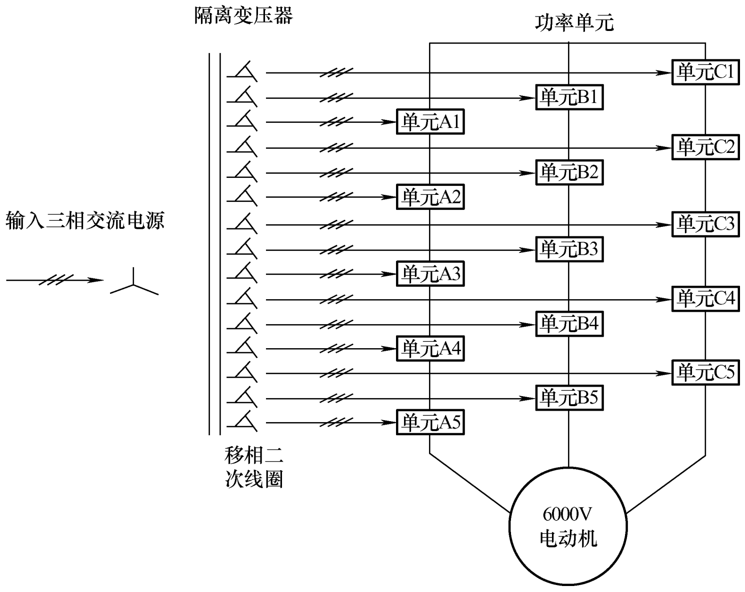


图 4-75　中压变频器的系统结构

案例104 钢轨刨床的节能改造

1. 概述

某车间现有两台钢轨刨床电气传动采用的是20世纪60年代流行的交磁扩大机控制的F-D（直流发电机-直流电动机）传动方案，由于老设备控制精度低、效率差、占地面积大、电能浪费严重、噪声大，加之元件严重老化，系统故障频繁，因此对其进行升级改造势在必行。

近代电子技术的发展和大功率半导体器件的出现，为实现直流调速系统的全数字控制创造了良好的条件。当今大型龙门刨床成熟的直流传动方案是采用全数字晶闸管可逆直流调速系统，它采用微型计算机进行控制，从而使整个电控系统装置不但体积小，而且运行可靠性大为提高，且系统效率比直流发电机组传动高，属于高效、节能产品。

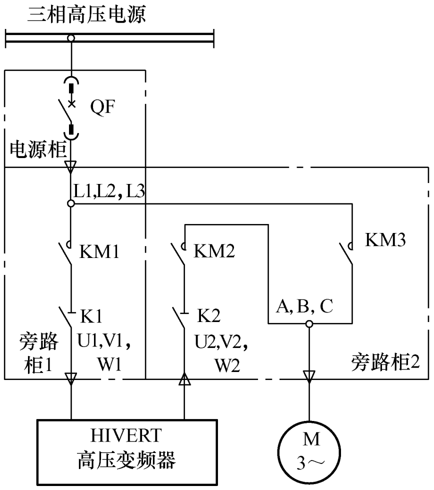


图4-76 变频器主接线图

2. 节能改造方案的确定

钢轨刨床的刨削加工主要由工作台的往复运动实现，其主机拖动系统主要是由一台110kW的直流发电机组和两台通过机械同轴刚性连接的60kW直流电动机构成，直流电动机的调速通过交磁扩大机的控制绕组进行信号的放大与转换，调节直流发电机组的输出电压，通过改变直流电动机电枢两端的电压来实现他励直流电动机的调压调速。

现对其中一台12m钢轨刨床进行了改造，新改的电气传动采用PLC（可编程逻辑控制器）控制的全数字晶闸管可逆直流调速系统。电控系统的PLC选用日本OMRON公司的CPM2A型整体式PLC，它负责完成全数字直流调速装置外围的给定信号处理、机床按钮站信号、各种限位信号和系统故障信号的逻辑控制与处理。全数字晶闸管可逆直流调速装置选用英国欧陆公司的590+系列500A四象限逻辑无环流（可逆）全数字直流电动机调速装置。此次改造调速系统采用编码器构成转速负反馈速度闭环控制，用以提高电气调速系统的速度平稳性，扩大系统调速范围、减小转速静差率。

在这套系统中通过内部或外部电位计给定0～10V的电压信号到PLC中，在由PLC进行数据处理后给定到直流调速装置来调节电动机的输出转速，具体系统控制原理图如图4-77所示。

为了保证系统有较高的动态性，采用了双闭环的结构通过与直流电动机同轴安装的测速编码器反馈回电动机实际转速信号$-U_n$和给定的电压信号U_n'共同给定速度调节器，经速度调节器PI整定后输出U_i'和电流的反馈信号$-U_i$共同给定电流调节器，经PI整定后在输入给控制晶闸管整流器的触发装置来控制加在电动机两端的电压。

这种控制方式使电动机转速n跟随给定电压U_n'变化，对负载变化起抗干扰的作用，而且对电网电压波动起及时抗干扰的作用，还保证获得允许的最大电流；在转速调节过程中，还使电流跟随其给定电压U_n'变化，并且当电动机过载甚至堵转时，限制电枢电流的最大值，从而起到快速的安全保护作用。

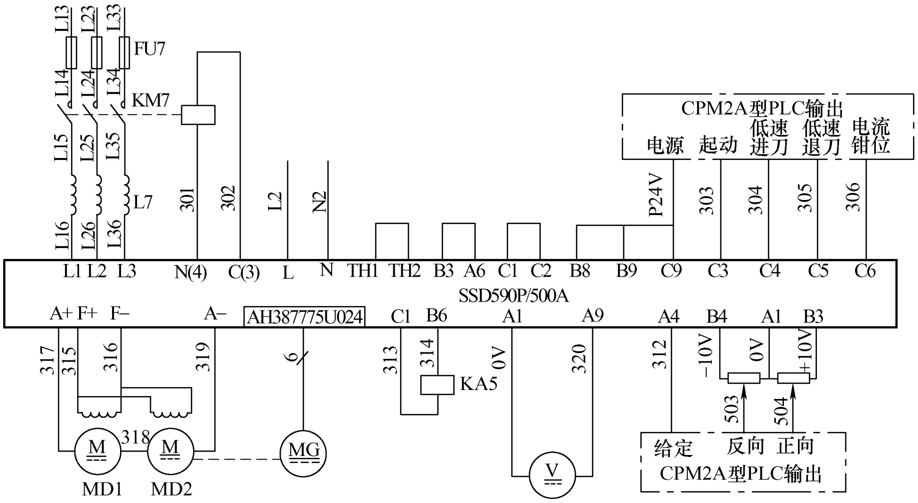


图 4-77　钢轨刨床全数字直流调速电气控制主电路图

案例 105　压力机的节电

1. 概述

压力机是一种结构精巧的通用性压力机。具有用途广泛，生产效率高等特点，压力机可广泛应用于切断、冲孔、落料、弯曲、铆合和成形等工艺。通过对金属坯件施加强大的压力使金属发生塑性变形和断裂来加工成零件。机械压力机工作时由电动机通过 V 带驱动大传动带轮（通常兼作飞轮），经过齿轮副和离合器带动曲柄滑块机构，使滑块和凸模直线下行。机械压力机在锻压工作完成后滑块程上行，离合器自动脱开，同时曲柄轴上的自动器接通，使滑块停止在上止点附近。如图 4-78 所示为压力机的外观。

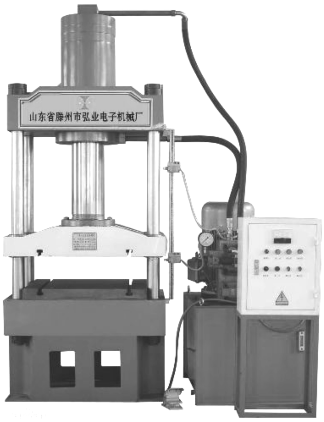


图 4-78　压力机的外观

2. 时间继电器在压力机节电改造中的应用

压力机的工作运行程序为，主机先开启，如主轴、飞轮或主油泵，然后再进入加工作业操作，其操作指令通常用于双手操作按钮控制或脚踏开关操作以送出指令。这种类型的机床在实际生产过程中，根据观察、分析和了解，在正常生产工作的过程中机床每班次累计的空运转时间过长。原因是操作工人在领料、送料，基本上不关停机床。

据现场检测一台压力机容量 7. 5kW 的电动机在空机运行中为 3. 3kW 左右，电动机容量为 11kW 的在空机运行中为 4. 5kW 左右，电动机容量 18. 5kW 的在空机运行中为 7kW 左右；一台液压机电动机容量为 22kW 的空机运行中为 9. 5kW 左右。由此可见，如能设法节约这些空机运行时的电能，年累计数字可大了。为此，如果操作工人离开机床设备或没给出操作指令信号有一段时间，机床即可按设定时间自动安全停机。这一设想首先想到的当然是时间继电器。

但是，不管我们选用那一种功能的时间继电器，我们对设备的电气控制必须要保持原有的安全操作功能，我们知道时间继电器的功能也很多，有通电延时、断电延时、断开延时、往复循环定时等。那么，选用 JA21-125A 压力机的控制电路为例，来分析一下它的电气控制原理电路图中能否加装时间继电器以达到节电改造的目的。

图 4-79 所示为 JA21-125A 压力机的电气控制原理图。它的工作原理是，合上总电源开关，打开急停按钮，选择行程规范，双手或脚踏开关，单次或连续，这里用脚踏单次做分析。按下 SB3 起动按钮即可起动主电动机，电动机起动后至正常运转，即可进入作业操作，踩下脚踏开关，使 KT1 时间继电器通电，中间继电器 KA1 吸合，牵引电磁铁 YA 得电工作，打开机械转动档杆，使冲床的冲头向下工作。KT1 专用时间继电器（1 ~ 2s）延时断开触头断开中间继电器 KA1 失电，牵引电磁铁 YA 也失电，弹簧将档杆拉回原位，使冲头仍然停止在原来位置。但是，为了调试和维修方便，特设计在不开主机的情况下，牵引电磁铁也能动作，只是在打开档杆，冲头因主机没工作故不动作。通过了解与分析，选用一个 ST3PF-2/AC220/10M 的断电延时继电器加装在图 4-79 的 100t 压力机电路中。

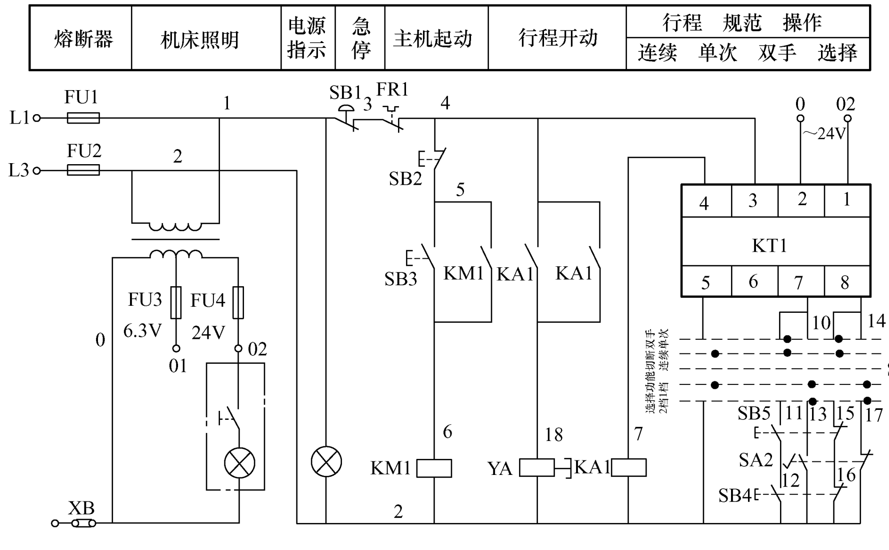


图 4-79　压力机的电气控制原理

图 4-80 所示为 ST3PF-2 断电延时继电器功能接线图：线圈 2-7 通电，1-3 或 6-8 延时断开触头闭合，线圈 2-7 断电，计时开始。延时设定时间到达 1-3 或 6-8 断开。将这个 ST3PF-2 断电延时继电器加装在原设计图 4-79 的电路中。来看一下操作步序（见图 4-81）：（点画线部分属于加装或改动的线接头），通过图 4-81 与图 4-79 比较，不难看出它是在 SB3 的起动按钮上加装了一个动合触头，使 KT2 的 7 号线点在按下 SB3 主机起动按钮 KM1 得电工作的同时也得电，延时断开触头 6-8 闭合，KM1 自保触头首先闭合。当手松开 SB3 起动按钮时，线 5 与继电器 7 号线点因 SB3 复位而断开，KT2 失电，断电延时计时开始，在设定时间内 KT2 如能因 KA1 动作，给线 5 与继电器 7 号线点有闭合动作得电，再失电时，计时复零，又重新开始计时。

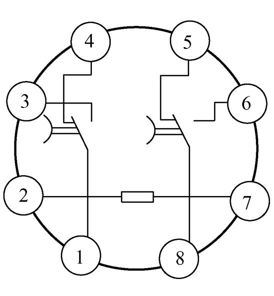


图 4-80　ST3PF-2 断电延时继电器功能接线图

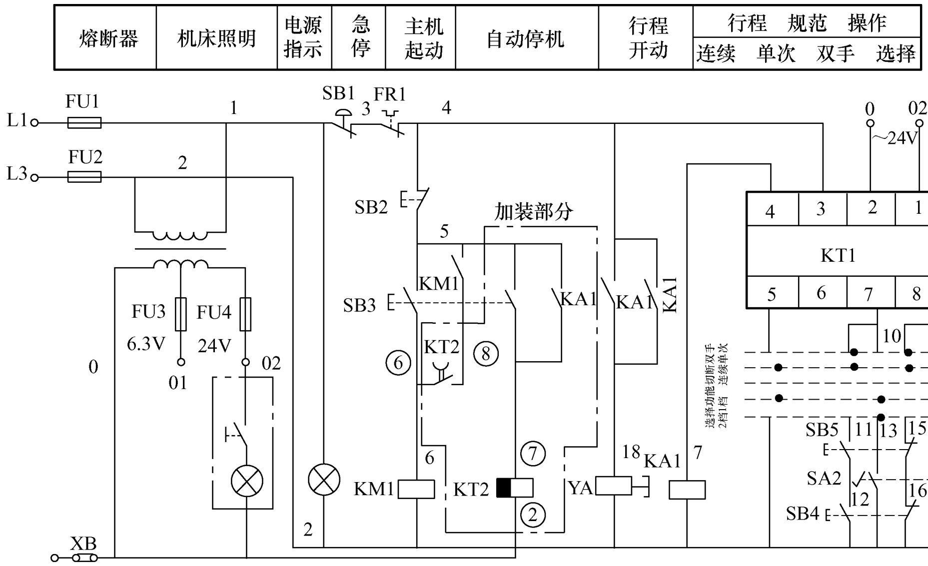


图 4-81　改装后的电气控制图

KA1 得电，信号来源于 KT1 时间继电器，KT1 的动作信号是脚踏开关给出的。如果在设定时间内 KT2 没得电，那么延时断开触头 6-8 断开，使主机接触器 KM1 失电，切断主机电源，实现了自动停机。其操作步序与原来的操作没有异样。

这里再用一个断开延时时间继电器，按它的工作原理更能适合要求。

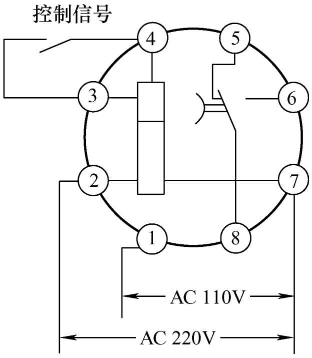


图 4-82　ST3PK 断开延时继电器

图 4-82 所示为 ST3PK 断开延时继电器的功能接线图：它的工作原理，1-7 或 2-7 通电（见电压等级接入），时间继电器进入预备状态，3-4 控制信号动合触头动作、时间继电器进入工作、延时断开触头 6-8 闭合；3-4 信号触头断开，时间继电器开始计时，当设定时间到达，延时闭合触头 5-8 闭合、断开触头 6-8 断开。如果在设定时间内 3-4 触头有闭合信号给出，延时计时又从 0 开始。只要在设定时间内有 3-4 触头动作信号，延时断开触头 6-8 永远闭合。直到 3-4 触头不动作，设定时间达到，延时断开触头 6-8 断开。按 ST3PK 的工作原理，选择了一个时间为 10min，AC220V 的时间继电器，加装到 JA21-125A 压力机的控制电路中实现设计目的。

可以看出图 4-83 也是在图 4-79 原来的 SB3 起动按钮上加装了一个动合触头，为起动主机的瞬间同时完成 KT2 时间继电器 3-4 计时复零信号的给定，使计时开始。再是原主机接触器的自保持线接点，在图 4-83 中接入到 KT2 时间继电器 6-8 点。在主机起动按钮按下的同时，KM1 和 KT2 同时得电，SB3 的另一个加装的动合触头接 KT2 的 3-4 信号闭合，延时断开触头 6-8 闭合，KM1 自保操作工人放开起动按钮时候 KT2 开始计时，只要在设定自动停机的时间内，KT2 能得到 3-4 动作的闭合信号，KT2 就计时复零，时间又从零开始，就这样直到 3-4 没动作信号，设定时间到达 KT2 时间继电器 6-8 延时断开触头断开，使主机接触器 KM1 失电，切断主机电源使主机自动停机。其操作步序与原来操作也一样。

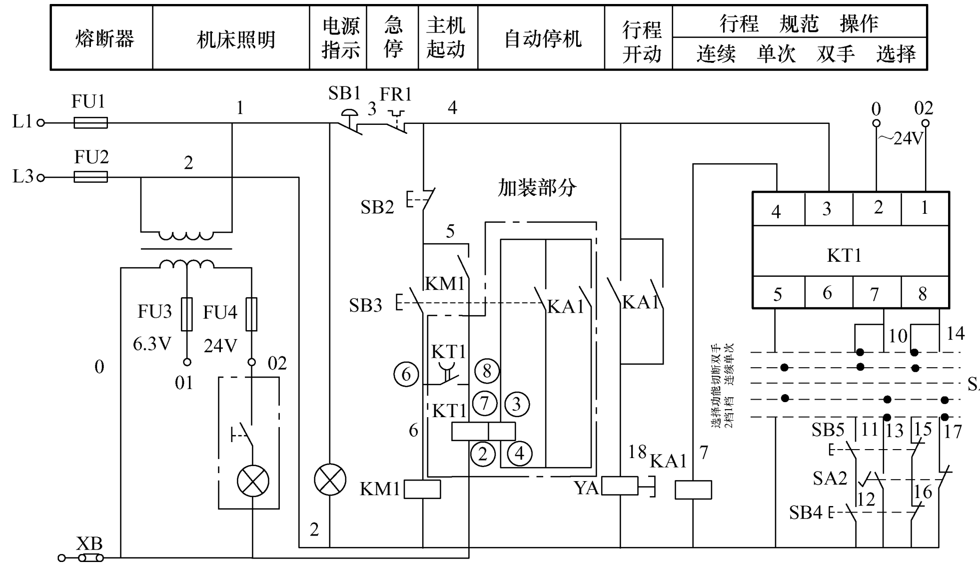


图 4-83　新改装的电气控制图

案例 106　压铸机的节电

1. 概述

压铸机就是在压力作用下把熔融金属液压射到模具中冷却成型，开模后得到固体金属铸件的一系列工业铸造机械，最初是用于压铸铅字的。随着科学技术和工业生产的进步，尤其是随着汽车、摩托车以及家用电器等工业的发展，又从节能、节省原材料诸方面出发，压铸技术已获得极其迅速的发展。图 4-84 所示为压铸机的外观。

图 4-84　压铸机外观

2. 智能节能控制装置节能原理

智能节能控制装置主要是针对压铸机的在实际压铸过程中的合模—加料—压射—顶出—开模流程。通过矢量变频控制技术，对压铸机在某一时间段上的实际工作压力，通过对电机转速、频率进行精确矢量计算给出最佳的用电量而产生节电效果。

该智能节能控制装置自身带有软起动功能，起到保护电动机及压铸机受起动时大电流影

响而产生的振动。同时，获得节电效果。这是因为在电动机的起动过程中，电流过大必然产生瞬间耗电量过大。而节电装置可以控制电动机在起动过程中的电流耗电量。以 700t 压铸机的单一压铸件生产过程计算：压铸机电动机功率为 37kW。在实际生产过程中，普通的压铸件产出全过程大概需要 4min 左右的工作时间。而电动机在 4min 左右的时间里实际耗电量为 2.47kW · h 左右。压铸机在生产中的压铸时间只有 1min 左右，出料、加料等时间在 1min 时间。也就是说：压铸机实际工作时间为 2min。而将产生 2min 的无功耗电时间。这个时间段也正是智能节能控制器产生节电的原因之一。

压铸机节电原理如图 4-85 所示。

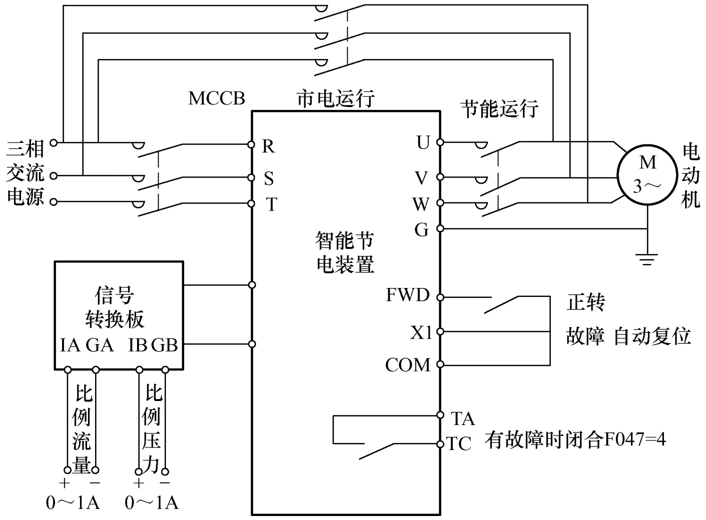


图 4-85　压铸机节电原理

该智能节能控制装置带有市电与节电转换两种操作方式。可确保节能装置在维修与保养时不影响压铸机的正常生产需要。

案例 107　变频电动机的选用

1. 概述

变频器在工厂节电中的应用非常广泛，但是它有一个缺点，就是变频器输出电流中谐波磁场的存在，不仅会在电动机中产生一系列谐波损耗，影响效率和温升，还会产生一系列谐波转矩。

这些谐波转矩分为两类：一类是大小和方向不变的恒定谐波转矩；另一类是交变谐波转矩。当电动机端电压中有 v 种电压波时，就形成了 v^2 个转矩，其中包括一个基波转矩、$(v-1)$ 个恒定谐波转矩和 (v^2-v) 个交变谐波转矩。

谐波转矩对异步电动机正常运行虽然影响不大，但在基波频率很低的情况下，当换流频率过低时，异步电动机的转矩会产生换流频率下的剧烈脉动。这种由于在两次换流之间转子电流过分衰减而造成的脉动转矩，会使电动机的转速发生一连串的步进现象。当传动系统的机械惯性较小时，尤其如此。

因此，低频下的转矩脉动使电动机的最低转速有一个下限，这就缩小了电动机的调速范

围。此外，谐波及其转矩还产生振动和噪声。因此为了减小电动机中的谐波转矩，必须在电动机设计时采取一些特殊措施。这也是变频电动机出现的主要原因。

2. 变频电动机的特殊设计

与普通电动机略有不同，变频电动机需要在以下两个方面采取如下特殊设计：

（1）转子采取特殊槽、降低谐波损耗及脉动转矩

由于变频调速电动机不同于工频电源驱动的电动机，不必特殊考虑它的起动性能，这为自由选择转子槽形提供了很大余地。由于集肤效应的影响，使谐波的电流集中在气隙侧，导致转子运行电阻增加，铜耗增大。

若采用图4-86所示的上大下小、槽深较浅的槽形（图中同时采用了闭口措施），则可大大减小集肤效应的影响。交流变频异步电动机一般不宜采用深槽结构，更不能采用双笼槽形。

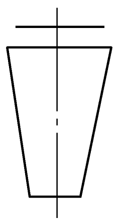


图4-86 转子槽形

还有一种方式，即采用闭口槽。转子有齿有槽会引起定子齿表面磁场高频变化，形成电动机定子的表面损耗和脉振损耗，甚至产生振动和噪声。采用闭口槽后既可大大增大槽漏抗，抑制谐波电流，降低脉动转矩，又可降低损耗，减小振动噪声。

（2）温升冷却方式

如前所述，由于谐波影响，由变频电源供电的电动机运行时损耗将大大增加。因此，其在相同的输出及相同转速下的温升也将大大地增加。据分析和实验证明，对中小型容量的自扇冷式电动机，其定子绕组温升上升9.6%～24.1%。因此，如前所述，为了减小损耗，降低温升，在进行变频调速电动机设计时，已采取特殊措施，使其在相同容量相同转速下损耗和温升不致过高。

即使如此，由于变频调速电动机运行速度范围很广，高低速度变化很大，而风扇风量 Q 与转速 n 有如下关系：

$$Q = \sqrt{\frac{K}{R}n} \tag{4-8}$$

式中 R——风路的电阻。

可见，低速时通风量将随转速正比减少。也就是说，电动机的冷却能力与转速有关。因此，为了防止变频调速电动机低速运行时冷却能力的下降，结构设计时，必须选用与电动机运行转速无关的他扇风冷方式。

图4-87所示为变频电动机的外观，显然其电机结构与普通异步电动机略有不同。

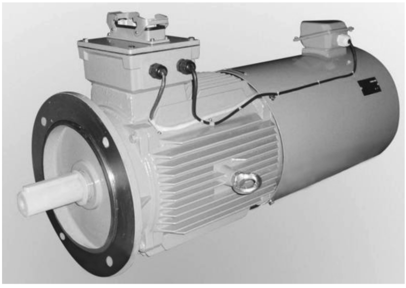


图4-87 变频电动机的外观

案例108 高效节能电动机的选用

1. 概述

高效节能电动机是指通用标准型电动机具有高效率的电动机。高效节能电机采用新型电动机设计、新工艺及新材料，通过降低电磁能、热能和机械能的损耗，提高输出效率。与标准电动机相比，使用高效电动机的节能效果非常明显，通常情况下效率可平均提高4%及其以上。

2. 国内现状

我国目前生产和使用的主要为 Y(YB) 系列和 Y2(YB2) 系列电动机，两者占了约 90%的市场份额。虽然国内有多家企业生产销售高效节能电动机，但相对数量偏小，仅占 10%的市场份额。由于需要采用优质材料，提高工艺加工水平，因此高效电动机的价格约高于普通电动机 15% ~20%。

我国有一定规模的中小电机生产企业有 300 家左右，生产的中小型电机有 300 个系列，1500 个品种，产品以一般效率的 Y、Y2、Y3 系列和高效率的 Y2-E、YX3 系列，其中 Y 系列电动机为我国 20 世纪 80 年代产品，Y2 系列为 90 年代产品，Y3 系列基本达到了 21 世纪初国际同类的先进水平，可达到欧洲能效标准的 Eff2 水平，目前属于全国推广产品。YX3 系列基本可达到欧洲能效标准的 Eff1 水平，同时达到 GB18613—2006《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》中能效等级 1 级要求。

我国可生产 Y2-E、YX3 系列及其他多种型号的高效电动机，并能批量出口到欧美，说明我国的电机制造水平目前大公司已达到世界先进水平。我国使用的电动机 70% 以上均是中小交流电动机，主要集中在 3 ~90kW，平均效率为 89.3%。高效电动机的平均效率可达 94%。我国中小型交流电动机占电机总量的 70%，每年新增中小型电动机的损耗约为 78.6 亿 kW·h，如使用高效电动机，可节能 950 万 kW；如将旧电动机全换为高效电动机，可节能 550 万 kW。高效电动机的投资回报，以 55kW 电动机为例，回收期为 1.06 年；以 22kW 电动机为例，回收期为 1.48 年。

我国于 2002 年出台第一部有关电动机的能效标准：GB18613—2002《中小型三相异步电动机能效限定值及节能评价值》，2004 年国家发展和改革委员会制定了《节能中长期专项规划》，把高效节能电动机列入第十一个五年计划中的重点节能推广项目，同时于 2005 年 6 月对 GB18613 标准进行修订。2006 年 8 月发布了 GB18613—2006《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》标准。

该标准参考了欧盟 EU-CEMEP 协议、澳大利亚与新西兰 AS/NZS 1359.5 同类标准，直接采用了欧洲 Eff1 和 Eff2 的效率标准。该标准根据我国电动机生产和使用的现状，对电动机的效率水平进行了 3 个等级的分级，即 Eff1，Eff2 和 Eff3。标准规定 Eff3 为能效限定值(最低效率值)，效率 Eff2 值在 GB18613—2006 标准实施之日 4 年后开始执行（2010 年 12 月)，并替代 Eff3 的电动机能效限定值，成为我国电机最低效率保证值。

3. 电动机提高效率的措施

电动机的节能是一项系统工程，涉及电动机的全寿命周期，从电动机的设计、制造到电动机的选型、运行、调节、检修、报废，要从电动机的整个寿命周期考虑其节能措施的效果，国内外在这方面主要考虑从以下几个方面提高电动机的效率。

节能电动机的设计是指运用优化设计技术、新材料技术、控制技术、集成技术、试验检测技术等现代设计手段，减小电动机的功率损耗，提高电动机的效率，设计出高效的电动机。

电动机在将电能转换为机械能的同时，本身也损耗一部分能量，典型交流电动机损耗的分布见表 4-18 和表 4-19。这些损耗一般可分为固定损耗、可变损耗和杂散损耗三部分。

可变损耗是随负载变化的，包括定子电阻损耗（铜损)、转子电阻损耗和电刷电阻损耗；固定损耗与负载无关，包括铁心损耗和机械损耗。铁损又由磁滞损耗和涡流损耗所组

成，与电压的二次方成正比，其中磁滞损耗还与频率成反比；其他杂散损耗是机械损耗和其他损耗，包括轴承的摩擦损耗和风扇、转子等由于旋转引起的风阻损耗。

表 4-18　交流电动机的损耗及比例

电动机的损耗	占总损耗的比例	电动机的损耗	占总损耗的比例
定子绕组铜耗	35 ~ 40	通风摩擦损耗	5 ~ 10
转子绕组铜耗	15 ~ 25	杂散损耗	10 ~ 15
铁心损耗	15 ~ 25		

表 4-19　标准感应电动机中满载时的损耗分布

损 耗 分 布	50hp 感应电动机			标准电动机的平均损耗（%）
	W	损耗（%）	标称损耗	
定子绕组铜耗	1540	38	0.04	37
转子绕组铜耗	860	22	0.02	18
铁心损耗	65	20	0.02	20
机械损耗	300	8	0.01	9
附加杂散损耗	452	12	0.01	16
电动机总损耗	3917	100	0.01	
输出功率	37300			
输入功率	41272			
效率（%）	90.5			

节电电动机提高效率的措施如下：

电动机定子绕组电阻损耗：降低电动机定子绕组的电阻是减少定子损耗的主要手段，实践中采用较多的方法：①增加定子槽截面积，在同样定子外径的情况下，增加定子槽截面积会减少磁路面积，增加齿部磁密；②增加定子槽满槽率，这对低压小电动机效果较好，应用最佳绕线和绝缘尺寸、大导线截面积可增加定子的满槽率；③尽量缩短定子绕组端部长度，定子绕组端部损耗占绕组总损耗的 1/4 ~ 1/2，减少绕组端部长度，可提高电动机效率。实验表明，端部长度减少 20%，损耗下降 10%。

电动机转子绕组电阻损耗：电动机转子的损失主要与转子电流和转子电阻有关，相应的节能方法主要有，①减小转子电流，这可从提高电压和电动机功率因素两方面考虑；②增加转子槽截面积；③减小转子绕组的电阻，如采用粗的导线和电阻低的材料，这对小电动机较有意义，因为小电动机一般为铸铝转子，若采用铸铜转子，电动机总损失可减少 10% ~ 15%，但目前铸铜转子所需制造温度高且技术尚未普及，其成本高于铸铝转子 15% ~20%。

电动机铁损耗：电动机铁损耗可以由①减小磁密度，增加铁心的长度以降低磁通密度，但电动机用铁量随之增加；②减少铁心片的厚度来减少感应电流的损耗，如用冷轧硅钢片代替热轧硅钢片可减小硅钢片的厚度，但薄铁心片会增加铁心片数目和电动机制造成本；③采用导磁性能良好的冷轧硅钢片降低磁滞损耗；④采用高性能铁心片绝缘涂层；⑤热处理及制造技术，铁心片加工后的剩余应力会严重影响电动机的损耗，硅钢片加工时，裁剪方向、冲剪应力对铁心损耗的影响较大。顺着硅钢片的碾轧方向裁剪、并对硅钢冲片进行热处理，可

降低 10% ~20% 的损耗等方法来实现。

案例 109　软起动器的选用

1. 概述

异步电动机以其优良的性能及不需维护的特点，在各行各业中得到广泛的应用。然而由于其起动时要产生较大冲击电流（一般为额定电流 I_e 的 4 ~7 倍），同时由于起动电应力较大，使负载设备的使用寿命降低。

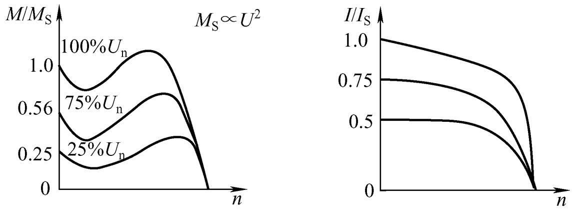
国家标准规定：当电动机频繁起动时，所造成的压降不宜低于 10%；不频繁起动时，压降不低与 20%；不频繁起动，且与照明或其他对电压波动敏感的负载合用变压器时，电动机起动时的电网电压降不能超过 15%。解决办法有两个：一是增大配电容量；二是采用限制电动机起动电流的起动设备。

如果仅仅为起动电动机而增大配电容量，从经济角度上来说，显然不可取。为此，人们往往需要配备限制电动机起动电流的起动设备，过去多采用Y/△降压、自耦变压器降压、磁控降压等方式来实现。这些方法虽然可以起到一定的限流作用，但没有从根本上解决问题。

随着电力电子技术的快速发展，智能型软起动器得到广泛应用。智能型软起动器是一种集软起动、软停车、轻载节能和多功能保护于一体的新颖电动机控制装备。它不仅实现在整个起动过程中无冲击而平滑的起动电动机，而且可根据电动机负载的特性来调节起动过程中的参数，如限流值、起动时间等。此外，它还具有多种对电动机保护功能，这就从根本上解决了传统的减压起动设备的诸多弊端。

2. 软起动器的工作原理

三相交流异步电动机的起动转矩 M_S 直接与所加电压的二次方成正比，也就是说，只要降低电动机接线端子上的电压就会影响这些值（见图 4-88）。



a）M_S 特性　　b）I_S 特性

图 4-88　降低电动机端子上的电压时起动转矩 M_S 和起动电流 I_S 的特性

软起动器的工作原理是通过控制串接于电源与被控电动机之间的三相反并联晶闸管的导通角使电动机的端子电压从预先设定的值上升到额定电压。图 4-89 所示为某系列交流电动机的软起动器控制系统框图。

软起动的主要起动方式包括：

（1）电压双斜坡起动：图 4-90 所示为在起动过程中，电动机的输出转矩随电压增加，在起动时提供一个初始的起动电压 U_S，U_S 根据负载可调，将 U_S 调到大于负载静摩擦转矩，

使负载能立即开始转动。这时输出电压从 U_S 开始按一定的斜率上升（斜率可调），电动机不断加速。当输出电压达到达速电压 U_r 时，电动机也基本达到额定转速。软起动器在起动过程中自动检测达速电压，当电动机达到额定转速时，使输出电压达到额定电压。

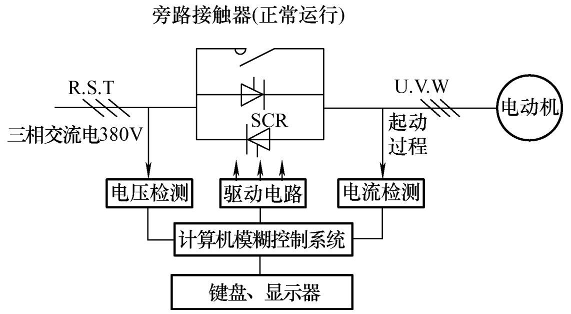


图 4-89 软起动的控制框图

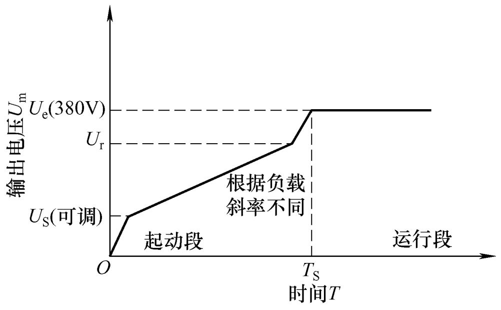


图 4-90 软起动输出特性

（2）限流起动：就是电动机的起动过程中限制其起动电流不超过某一设定值（i_m）的软起动方式。其输出电压从零开始迅速增长，直到输出电流达到预先设定的电流限值 i_m，然后保持输出电流 $i<i_m$ 的条件下逐渐升高电压，直到额定电压，使电动机转速逐渐升高，直到额定转速。

这种起动方式的优点是起动电流小，且可按需要调整，对电网影响小。其缺点是在起动时难以知道起动压降，不能充分利用压降空间。

（3）突跳起动：在起动开始阶段，让晶闸管在极短的时间内全导通后回落，再按原设定的值线性上升，进入恒流起动，该起动方法适用于重载并需克服静摩擦转矩的起动场合。如空压机电动机的起动采用此方式，这样可以减少起动时的振动，如图 4-91 所示。

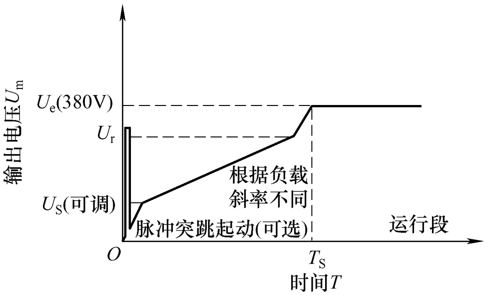


图 4-91 带突跳的软起动输出特性

案例 110 交流电动机节电控制器的选用

1. 晶闸管交流电动机节电控制器的工作原理和性能简述

交流电动机的节电控制，是个永恒的话题，用晶闸管自动调压进行的节能运行，只是其中一个方法。一般笼型交流电动机，不管负载大小，总是在全压（3 相 380V）下运行的，这就形成了调压节能的空间。电动机电流是励磁磁场所需的电流和驱动负载所需电流的矢量和，产生机械转矩和驱动负载的电流（也称有功分量）几乎与电压同相，而磁化电流消耗于绕组的电阻，该电流滞后于电压约 90°（此为无功分量，造成无功和有功损耗），两者合成量与有功分量的比值或用功率因数来表征。

电动机在轻载或空载运行时，效率与功率因数最低，相对于满载来说，自身损耗（主要为绕组电阻的铜损和磁路的铁损）加大，若能适度降低电压定子绕组的供电电压，同时能满足电动机的带载能力，则能使电动机功耗大为降低，起到降/调压节能的目的。

晶闸管交流电动机节能控制器的控制原理，即随机跟踪检测电动机运行电流与电压的相

位角（检测运行功率因数角），根据负载变化（导致功率因数角变化）随机调整电动机的端电压值，在轻载和空载时提供一个较小磁场维持电流以克服摩擦力所需的小转矩，负载较大时，则提升电动机端电压输出相应转矩，使电动机端电压据负载变化而变化，随时保持在最佳节能工作状态，从而大大降低电动机轻、空载时的内部损耗，达到节约有功功率、无功功率和提高功率因数的目的。

当交流电动机的负载率从60%～20%变化时，电动机的端电压变化范围约为380V～280V，电动机的运行电流下降40%以上，无功功率降低40%～60%，功率因数上升至0.9左右，有功功率节电15%～40%。其综合节电效益还是相当不错的。

节电控制器的控制功能：

1）自动跟踪负载变化，随机调整电动机端电压，适应稳定和负载轻重变化频繁的设备；

2）具有较为优良的软起动功能，设置有电压斜坡起动控制模式，起动电压能从较低值（如160V）缓慢平滑上升到380V，重载下起动，能将起动电流限制在额定工作电流的4倍以下，可平稳地起动电动机，减缓了机械和电气冲击；

3）较为完善和可靠的过载、短路与断相保护功能，保护动作时间符合相关标准；

4）节电控制器的起、停控制及运行、故障状态显示功能。

2. 节电控制器的电路构成

节电控制器的电路构成（见图4-92）：

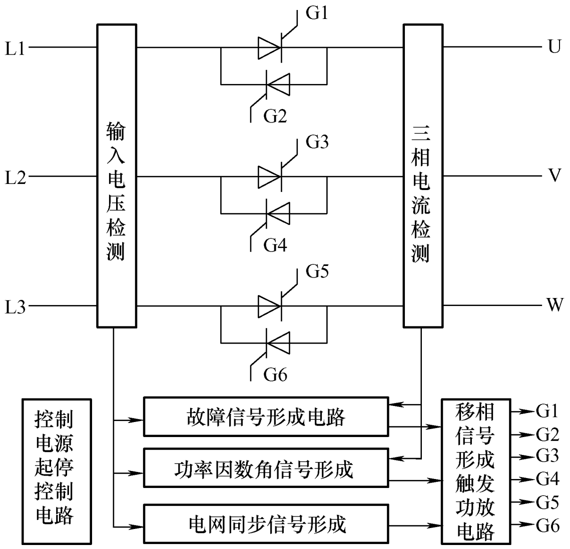


图4-92　晶闸管交流电动机节电控制器的电路构成

1）主电路一般由三组正反向并联的单向晶闸管组成，对三相电源进行交流调压输出，控制电动机的端电压。采有三只双向晶闸管实施交流调压的，在大功率电路中，较为少见。

2）控制电路包括：①三相运行电流和电压检测电路；②三相电压检测信号，又形成电网同步信号，用作移相基准参考；③三相运行电流和电压检测信号，又经相位比较形成功率因数角检测信号，确定触发脉冲的移相角度；④三相运行电流和电压检测信号，又处理成故

障报警和停机保护信号；⑤移相脉冲形成电路和触发脉冲功放电路，用于驱动 6 只单向晶闸管；⑥控制电路的稳压供电电路。

案例 111 Y/△自动转换节电器的选用

1. 概述

三相异步电动机无论是空载、满载、甚至超载都是在全电网电压下运行，其磁场几乎不变，也就是励磁电流分量，在所有负载情况下，近似地相同，而驱动负载所需转矩电流是随负载而变化的。这样电动机满载时的转矩电流要高于励磁电流，其功率因数值可以达到 0.85 以上，当负载下降时，转矩电流减小，而励磁电流却不变，其功率因数就低。负载越小，功率因数就越低。电动机空载时，其功率因数值只有 0.1～0.25 左右。

本电动机节电器可以对△联结或Y/△联结的异步电动机自动检测电动机不同负载电流，当电动机在额定负载的 55% 以下，由△联结变换为Y联结运行。Y联结负载能力取决于电流，而转子电流受额定值的限制，不能任意增大，一般取 55% 以下（称为转换工作点），大于转换工作点为△联结，小于转换工作点为Y联结。当电动机由△联结转换为Y联结运行时，定子绕组的相电压降低到额定值的 $1/\sqrt{3}$，所以空载电流也几乎减小到额定值的 $1/\sqrt{3}$，磁化无功功率大约减小到额定值的 1/3，从而减少了从电网吸取的滞后无功功率，提高了功率因数，达到节电的目的。

当电动机起动时在Y/△延时间内，电动机保持Y联结运行。在电动机运行过程中，电流信号经过取样处理，并进行Y/△鉴别，再通过控制电路自动转换电动机或Y联结或△联结。Y/△鉴别受到跟踪电路和工作点信号监视比较。电动机如负载重时（达到或高于所设置的Y→△的转换点）则自动转换到△联结运转，一旦负载减轻时（降至或低于所设置的△→Y的转换点）则自动返回Y联结运转，达到节电能目的。为了避免因负载突变而使转换元件频繁工作，电路中设置了转换延时。

2. 原理框图与主要技术特点

Y/△自动转换节电器的原理框图如图 4-93 所示。

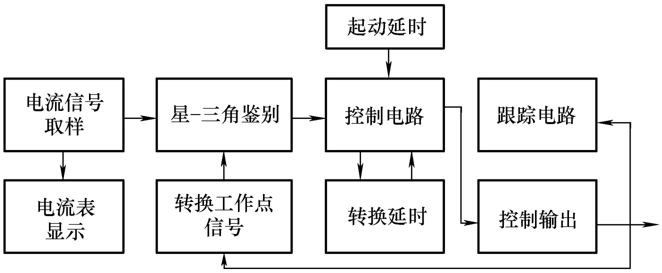


图 4-93　原理框图

该节电器的主要技术特点：

1）适用范围：适用于 4～10kW 具有 6 个接线端子，相绕组电压为 380V 的交流异步电动机（见图 4-94）。10kW 以上的电动机应外接匹配电流互感器。

2）具有Y/△减压起动功能：可根据不同功率电动机的起动性能与一次回路电器配合，在 1～30s 范围内进行起动延时调节，起动完毕时，能根据负载大小自助转换成△联结或保

持Y联结运行。因此可以取代各种类型的减压起动器。

3）具有双重可调转换工作点：

Y→△45%～65%任意可调；

△→Y 40%～60%任意可调；

Y/△转换时间：Y→△0.5～1s，△→Y 2～3s。

4）节电率：

有功能电率：空载：60%左右，轻载：15%～40%；

无功节电率：70%左右；

空轻载功率因数提高：25%～60%。

节电器的具体接线如图4-94所示。

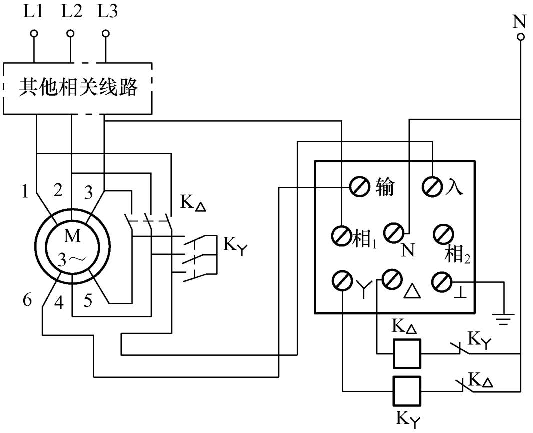


图4-94　节电器的具体接线

注：1. 工作电压为220V；2. 输出电压为220V。

案例112　正弦绕组在Y2系列电动机中的选用

1. 概述

正弦绕组在三相异步电动机运用中有多种形式，常见的如“△-Y”串联或并联“△”接法的正弦绕组、单双层混合绕组、散布绕组以及低谐波绕组等。在Y2系列电动机制造中，通过各类文献发现该系列某些规格电动机在全国联合开发设计和试制过程中存有一定的设计缺陷，再加上后期的批量生产以致工艺变化和所使用的主要原材料质量的波动等缘故，使得该系列部分规格电动机性能很难达到设计要求。

为此，近几年包括安徽皖南电机等公司针对Y2系列一些性能不合格的电动机进行了改型设计，并取得了一定成效，即通过尝试，在Y2系列一些性能不理想的规格中运用正弦绕组设计方案，在不增加材料成本的基础上，使该类电动机各项性能指标有可能均达到合格水平。而对原Y2系列性能很好（即合格）的电动机若采用正弦绕组方案，则可在保证该电动机各项性能合格的前提下，还可达到显著的节电和节材效果。

2. 正弦绕组的设计与应用

正弦绕组是一种“高精度”的特殊单、双层不等匝混合绕组，在设计正弦绕组电磁方

案时，除考虑保证电动机各项性能指标符合产品标准规定外，还要顾及用户在实际使用和直接感观到的一些性能指标，如对电动机温升、起动、空载电流、噪声、振动和过载能力等，在设计时都有所侧重。特别是对温升指标，因该指标无容差规定，故在设计时要留一定裕度。就 Y2 系列电动机而言，若温升裕度过小，往往会因制造工艺或原材料质量的波动，电动机温升有可能不合格。

这里针对 Y2 系列某些规格电动机，在从工艺或结构上难以降低温升的情况下，运用正弦绕组可消除或削弱电动机的高次谐波的优势，使其达到降低温升的效果。表 4-20 为 Y2-200L-4 正弦绕组设计方案与普通双层（上科所）方案和普通单双层绕组方案性能数据对比（冲片为 DR470）。

表 4-20　Y2-200L-4 正弦绕组设计方案

类　　别		普通双层（上科所）方案	单、双层绕组方案	正弦绕组方案	标 准 值
Y2-200L-4	铁心长	195mm	195mm	195mm	
	跨距	10	13	12.75	
	接法	△	△	△	
	每圈匝数	26	14，14，24	9，16，26	
	线规	3-ϕ1.18	2-ϕ1.12 1-ϕ1.18	2-ϕ1.18 1-ϕ1.25	
	每台线重	15.97kg	15.17kg	15.84kg	
	效率	90.76	91.72	91.74	91.4
	功率因数	0.867	0.8735	0.872	0.86
	温升 k	85.27	81.32	61.41	80

根据正弦绕组在 Y2 系列诸多规格电动机中的运用效果，一般认为正弦绕组完全可广泛运用到中心高 H112 及以上机座号，且每极每相槽数大于等于 3 的电动机中。据统计，假如该绕组在 NEMA 标准的 NE 高效电动机中运用，在同工艺、同等材料成本的条件下，电动机效率约提高 5‰左右，节电效果也得到相应提升。

案例 113　转子变频技术的应用

1. 工作原理

转子变频技术就是采用内反馈三相异步电动机，将电动机转子电压经整流变为直流电压，当斩波器导通时转子电流被斩波器短路，形成轴功率；当斩波器开路时，转子直流电流经有源逆变器反馈到电动机反馈绕组，形成转差功率，通过改变斩波器的占空比即能改变电动机转速，如图 4-95 所示。内反馈电动机旨在加强电动机调速内因在电动机定子上设计了多绕组，从而去掉了庞大的变压器的体积，极大地提高了效率。高频变流控制是实现内馈调速的最重要的关键技术，从根本上解决了逆变器可靠性和功率因数低等诸多问题。

2. 技术特点

转子变频技术通过高频斩波占空比的调节来控制电动机的转速，其功率因数恒定为 0.92。斩波控制容量仅为电动机容量的 35%，所控电压均为 1000V 以下的低电压，且无须外附任何变压器和滤波器。调速装置谐波量仅为移相控制的三分之一。

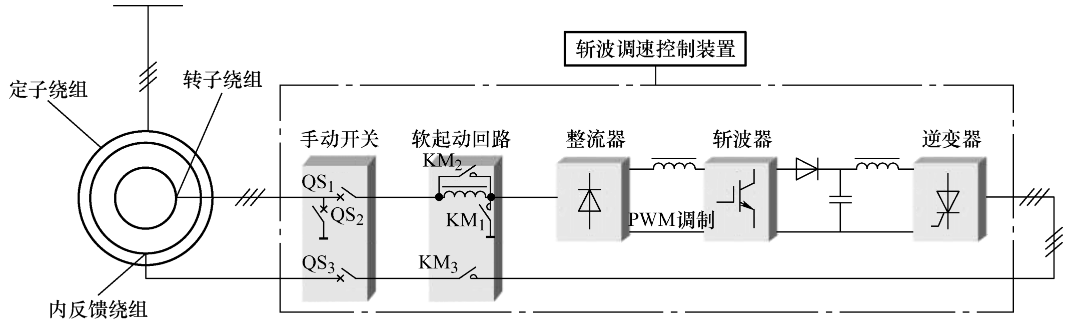


图 4-95　转子变频技术工作原理

该技术的使用，解决了许多高压变频器难以解决的问题，如器件耐压和大容量问题，使电压等级高达 10kV（甚至更高电压），容量达到 4000kW 以上的电动机无级调速得以实现，确实实现了高可靠性、高效率、高功率因数和低谐波量的理想调速系统。

案例 114　开关磁阻电动机的选用

1. 概述

开关磁阻电动机（简称 SRM）独特的结构性能决定其具备着节能上的优势。国家发改委、科技部、环保总局在 2005 年联合发布的《国家鼓励发展的资源节约综合利用和环境保护技术》公布中明确指出“开关磁阻电动机系统是一种机电一体化节能型电动机系统，要鼓励推广应用”。

（1）定子和转子结构

SRM 的定子和转子采用双凸极结构，绕组仅装在定子上，转子上无绕组、无鼠笼条、无永磁体，结构简单，极数不同，有多种不同搭配，如定子/转子极数有 6/4 极、8/6 极、12/8 极等结构，定转子铁心均由硅钢片冲成一定形状齿槽而叠压而成。图 4-96 是 SRM 定、转子冲片结构图。

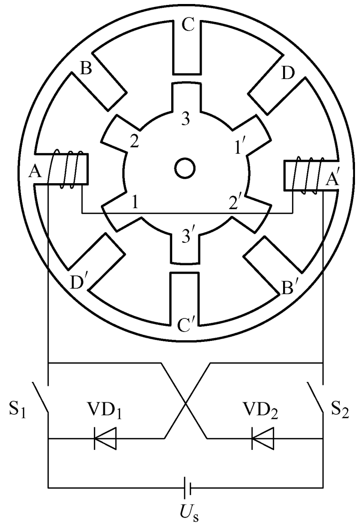


图 4-96　三相 8/6 极开关磁阻电动机定、转子结构图

（2）控制调速系统

传统的 PID 控制，一方面参数的整定没有实现自动化，另一方面这种控制必须精确地确定对象模型。而开关磁阻电动机得不到精确的数学模型，控制参数变化和非线性，使得固定参数的 PID 控制不能使开关磁阻电动机控制系统在各种工况下保持设计时的性能指标。将模糊控制和 PID 控制两者结合起来就可扬长补短。采用模糊控制和 PI 控制的开关磁阻电动机调速系统框图如图 4-97 所示。

（3）驱动系统

SRM 的驱动系统主要由开关磁阻电动机、功率变换器、控制器、电流检测器和位置检测器组成，同时还有实现系统的过电压、过电流、欠电压、过温等保护功能的电路。其组成结构如图 4-98 所示。

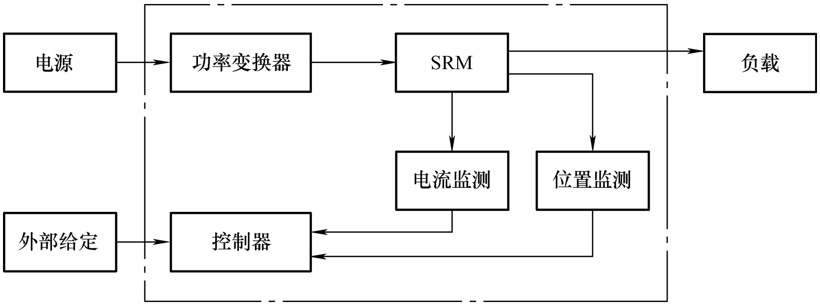


图 4-97　开关磁阻电动机调速系统框图

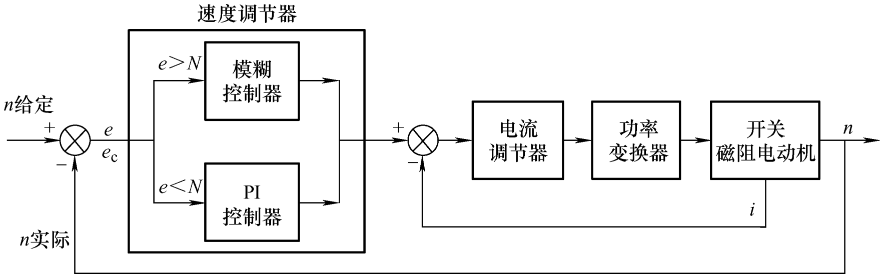


图 4-98　开关磁阻电动机驱动系统

2. 开关磁阻电动机的节能优势

与传统电动机的工作原理不同，开关磁阻电动机工作时遵循磁阻最小原理，即磁通总是要沿着磁阻最小路径闭合，转子旋转时磁路的磁阻有尽可能大的变化。利用齿极间的吸引力拉动转子旋转，电动机转向仅取决于相绕组通电的顺序，与绕组电流的方向无关。运行时通过控制相绕阻电子开关来改变电动机转向、转矩、转速、制动等工作状态，与传统的电动机或加挂变频器的电动机相比，控制更灵活，可靠性更高，节能效果更明显。

SRM 定、转子结构简单，起动电流小，起动转矩大，省电省力。经测定，当起动转矩达到额定转矩的 150% 时，起动电流仅为额定电流的 30%，这远远超过变频器。

SRM 转子无绕组、无鼠笼条和无永磁体，因此低速下可长期运转，高速运转时不变形，允许温升范围高，不会因长时间运转导致退磁从而影响系统效率；电动机在零到最高转速的范围内带负载长期运转时，电动机及控制器的温升均低于工作在额定负载时的温升；在低、中、高宽泛的速度范围内，具有平均 80% 以上的效率（额定点效率约为 93%），调速范围宽，系统效率高，整体效率比其他调速系统高出至少 10%；运行功率因数达到 0.95 甚至接近 1.0，不需要无功补偿或平衡，这是其他电动机包括变频器电动机所无法实现的。

SRM 可频繁带载起停、正反向频繁转换运行，带负载能力强，在有制动单元及制动功率满足时间要求的情况下，起停及正反转切换可达每小时一千次以上，而且耗电小。

案例 115　选煤厂抑制谐波节电器的应用

1. 概述

某选煤厂主要是电感性负载，其变电所 10kV 电源引自上一级变电所。该厂主要设备

有：空压机，水泵，破碎机，胶带电机，离心机，分级筛等，精矿泵、入料泵、合介泵、胶带机等大功率电动机全部采用变频器调速控制，产生的谐波、浪涌较为严重，导致整个用电系统效率较低。

通过对该选煤厂低压电力系统的用电负载线路进行详细调查研究，并且对块煤合介泵在45Hz时的用电参数使用专业电能综合测试仪做了测量，块煤合介泵280kW，加装变频器的参数：电压为401.2V，电流为169～176A，有功功率为116kW，视在功率为116.2kVA，无功功率为11.4kVAR，5次谐波达到28.9%，电流为48.1A。

该厂由于大功率电动机全部采用变频器或软启调速控制，所以低压电网系统谐波含量较大，导致电流波形畸变严重，块煤合介泵奇次谐波和电流畸变波形如图4-99和图4-100所示。

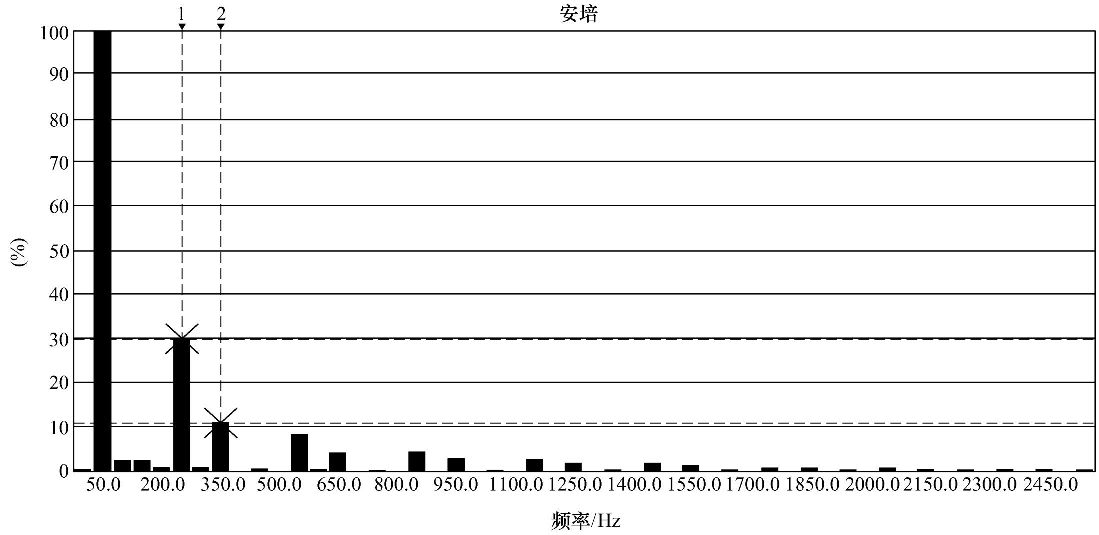


图4-99　奇次谐波

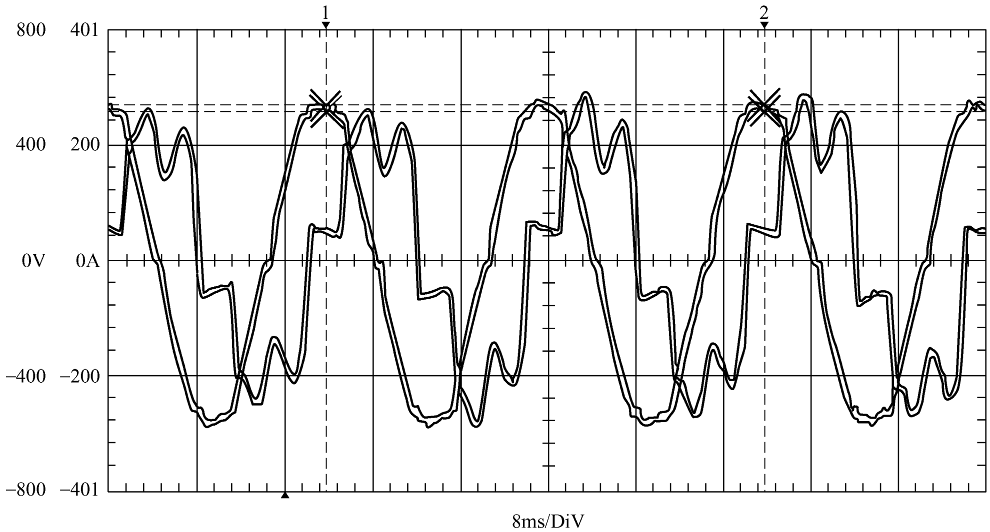


图4-100　电流畸变波形

从图中可以看出5次、7次谐波严重超标，最高达到了3次28%以上，谐波电流为48.2A，波形畸变严重。

以前解决这些问题的做法是提高电源网络的功率因数，因此需要改进用电设备本身的功率因数，可根据实际负载的大小合理地选配电动机，尽量减少负载的轻载运行或空载运行。实际生产中电动机轻载或空载运行是不可避免的，虽然可以大幅度降低基波无用电流，但是必然出现谐波放大现象。这时，供电电流和器件电流中谐波和间谐波电流大幅度增加，器件由于超温和过电压而损坏，供电变压器温升加大。为避免谐波电流大幅度增加，必须保证电网质量，避免谐波放大，谐波治理与功率因数改善必须同时进行。这样才能保证选煤厂的正常生产运营。

2. 解决方案

本着架构合理、安全可靠、降低成本和维护量的原则，这里选用诺比公司系列节电产品。在不对原电力系统作任何改动的情况下，配置ECO-Saver系统节电器、省电霸节电器、诺电霸专业节电器、诺电霸PQ专用节电器等高科技产品。从经济、实用、有效的目的出发，采用单机点对点的节电设备安装如图4-101所示，形成电动机负载优化网络。

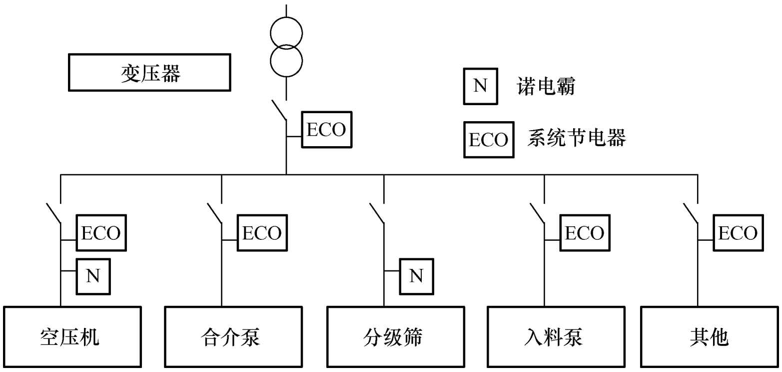


图4-101　节电设备安装示意图

利用诺比节电器的斩波技术实时调节电动机的输出扭矩，最终达到恒速电动机的负载曲线优化，降低电源浪费，解决大马拉小车的问题，形成电源质量提高网络。降低损耗，提高设备运行效率，两个网络形成互补，达到节电与保护的双重效果。

使用节电系统前（非节电状态）测得某合介泵配电段数据如下：电压=392.7V，电流=1.664kA，有功功率=1020kW，视在功率=1120kVA，无功功率=451kVAR，功率因数=0.91，5次谐波含量13.4%，209A。

使用节电系统后（节电状态下）测得某合介泵配电段数据如下：电压=392.5V，电流=1.402kA，有功功率=886kW，视在功率=953kVA，无功功率=351kVAR，功率因数=0.93，5次谐波含量0.4%，6.83A。

有功节电率=（安装节电器前有功功率-安装节电器后有功功率）/安装节电器前有功功率×100%=(1020-886)/1020×100%=13.1%，即有功功率节电率为13.1%。

案例116　彩涂机组后燃烧排烟风机的节电

1. 概述

某公司彩涂后燃烧排烟系统的设计采用工频恒速电动机加风门挡板控制，主要是将后燃

烧系统充分燃烧产生的并经1#、2#热交换器热交换后的高温废气排放到大气中。由于电动机功率较大，起动电流达到500A左右，起动时采用软启动控制，起动稳定后切换到正常模式。电动机通过带轮传动带动风机叶轮，排烟量通过风门挡板根据温度来控制。通过实际运行观察总结，一般冷态下和生产升温准备中，由于废气温度较低，风门挡板开度一般为20%，电流稳定在230A左右；正常生产中废气的温度一般在300℃左右，风门挡板开度一般在80%左右，电流稳定在150A左右，初步计算工频平均每小时实际耗电量为83.92kWh。

从实际运行可以发现，该排烟风机实际应用中大部分时间并非满负载工作，由于实际风机选型根据满负载工作量设计，所以实际使用中耗电量大。且由于笼型交流恒速异步电动机的调速较困难，起动和停止时速度很难调节，起停时传送带和带轮的摩擦打滑，声音非常响，两者磨损量大，需定期更换，同时电动调节风门挡板由于废气煤焦油的影响故障率很高，备件消耗量大，同时大电动机在工频、全压状态下开停比较困难，对电网冲击较大，多台风机同时起动，会引起进线开关跳闸，所以对开关设计容量要求的放大系数较高。所以采用变频器直接控制该排烟风机，取消风门挡板控制是一种最可行最节电的控制方法。

彩涂焚烧炉热交换器排烟风机功率为160kW，起动时采用软启动控制，同热风供应风机共用1台软启动器。彩涂机组焚烧炉热交换器排烟风机分三地控制，分别为操作室风机起动盘、现场操作箱及HMI控制。其中位于操作室的风机起动盘通过硬接线回路直接对风机进行启停操作；现场操作箱旋转开关及按钮等将指令送入PLC系统，对风机进行操作控制，风机现有控制方式如图4-102所示。

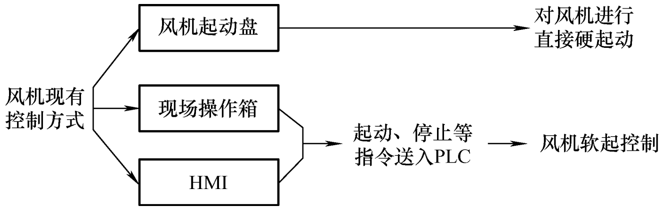


图4-102　风机现有控制方式

2. 控制策略

对彩涂机组焚烧炉热交换器排烟风机进行变频控制改造，同时取消排烟风机前的温度控制阀的控制功能。为了确保稳定运行，系统采用工变频冗余方案，保留原风机工频控制柜。实现工变频互锁功能，提高系统可靠性，当变频系统出现故障或需检修时，可切换到工频运行模式，保证风机工作。同时对风机的起停控制程序、输入输出接口以及与炉温控制的联锁进行了修改调整，以满足实际生产运行以及跟踪维护的需要。变频器柜面上安装风机工频运行/变频运行的选择开关，并在柜面上显示变频器运行状态、当前风机的电流值等，同时将相关信号送入OVEN PLC。

排烟风机前温度保护阀门的控制是以烟气温度作为最终控制参数来实现闭环控制的。后燃烧器内部的正压力靠最终排烟风机形成，后燃烧器在燃烧过程中必须保证其正压在一个正常范围，否则将严重影响系统运行的稳定。同时，因排烟风机的频率速度发生变化，整个后燃烧系统的烟气温度也随之发生变化，反映到后燃烧的压力变化。因此，排烟风机也需根据后燃烧器压力情况而自动进行微调整，保证后燃烧器炉膛正压稳定。

控制过程如下：热电偶将烟气温度监测反馈到温度调节控制器输入端，与温度设定值以及后燃烧压力进行比较运算，误差信号再经过PID运算处理，所输出的信号作为排烟风机变频器的频率调节控制信号来调节风机的转速，图4-103为风机PID控制流程图。

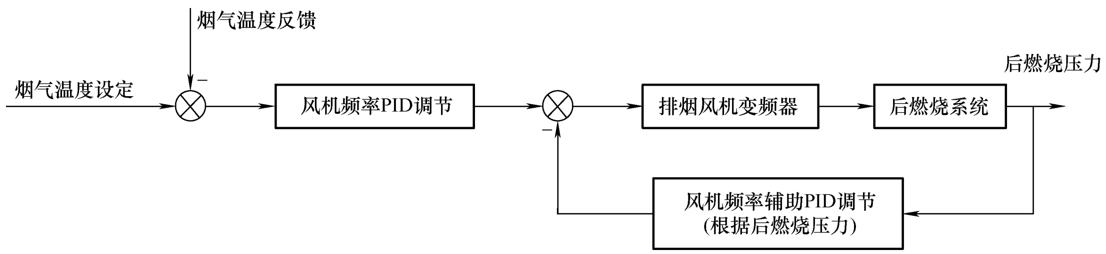


图 4-103　风机 PID 控制流程图

风机在一般冷态下和定修生产升温准备中实现低频功能，即按 40% 的工频频率 20Hz 运转；正常生产中以及日常品种切换时，按照上述 PID 计算输出的频率值对排烟风机的速度进行自动调节。采用该控制方案，系统新增变频柜 1 台（以 1 台为例）。控制过程如下：热电偶和压力变送器将炉膛内监测到的烟气温度和压力信号传送给 OVEN PLC 控制系统，PLC 系统根据检测值进行 PID 闭环运算，输出信号（4～20mA）给排烟风机变频器作为频率给定信号来调节风机转速，另外亦可从 HMI 人机接口采用直接给定模式，直接给定排烟风机变频器频率信号。

改造后焚烧炉热交换器排烟风机操作仍分三地控制：操作室风机起动盘、现场操作箱及 HMI 控制。操作室的风机起动盘直接对风机进行起停控制；现场操作箱及 HMI 将指令送入 PLC 系统，在 PLC 程序中选择对风机进行工频软启控制或变频控制，改造后风机控制方式如图 4-104 所示。

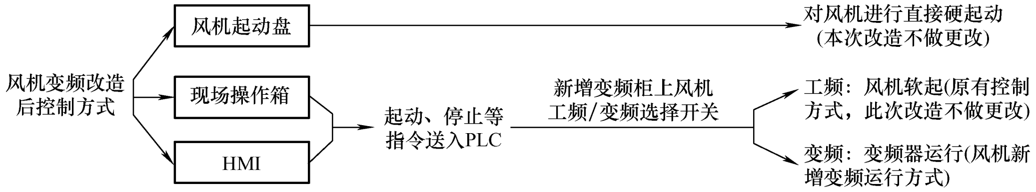


图 4-104　风机改造后控制方式

案例 117　球磨机的节电

概述

球磨机是矿山生产中碎矿和磨矿的重要设备，磨矿作业的好坏对选矿产品指标的高低有直接影响，同时也是选矿厂乃至矿山的耗能大户，抓好球磨机的节能具有现实意义。

对球磨机功率因数调节的节能应用，在认识和管理中存在不到位的现象，有的不重视功率因数的调节，有的是任由生产操作人员随意操作，有的是担心过励磁影响励磁装置。本文中所述的情况也是如此，车间只抓生产，使球磨机励磁电流维持在 110A，$\cos\phi = 0.9$ 的长期偏小，定子电流为 58A 偏大状态，如图 4-105 所示处于欠励滞后状态，这对于 6/10kV 系统是偏低的，它没有充分利用同步电动机的优越性，达不到对矿变电所的无功补偿和节电要求。

某矿选矿车间的 1、2 号球磨机为格子型球磨机，电动机具体型号为：TZ213/29－24，参

数为：P_e = 600kW，U_e = 6kV，I_e = 70.3A，n_e = 250r/min，$\cos\phi$ = 0.9，η = 93.9%，每相电阻为 0.42Ω，同步电抗为 12.4Ω。励磁装置为：KGLF 系列，U_e = 110V，I_e = 300A，两条 6kV 线路 610、605 是球磨机到 110kV 变电所的专用线路。

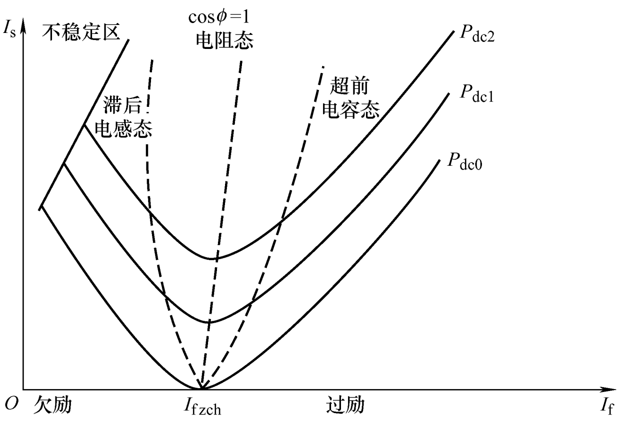


图 4-105　同步电动机 V 形曲线

结合矿山实际情况，对于如何控制球磨机的状态使线路和球磨机处于经济运行状态，存在两种意见，一种是对原励磁装置进行系统升级改造，主要存在资金和调试对正常生产影响的问题；另一种是利用现有励磁系统，对球磨机和线路综合考虑，在线调节球磨机励磁电流，这种方式不需投入，仅仅通过技术手段，又不耽误生产，比较受欢迎。本着先易后难，先简后繁的原则，采用第二种方式，调节效果见表 4-21，作为验证，理论计算的结果也纳入表中。

表 4-21　调整前后线路和球磨机的参数实测值、计算值

	线路电气参数测量值			球磨机励磁电流值
	U_e/kV	I/A	$\cos\phi$	I_f/A
调节前	5.9	58	0.9	110
实测调节后	5.9	53	0.98	130
计算调节后	5.9	52.6	0.99	130

由表 4-21 看出：

1）$\cos\phi$ 由 0.9 增大到 0.98 时，励磁电流由 110A 增大到 130A，且定子电流由 58A 减小到 53A，这和同步电动机的 V 形曲线以及同步电动机励磁调节原理图相一致。

2）表中的定子电流为 53A、52.6A，$\cos\phi$0.98 和 0.99 基本一致，说明理论计算和实测参数值基本吻合。

案例 118　永磁电动机在化纤厂的选用

1. 概述

某化纤厂原料干燥设备主要包括三相异步电动机、减速机和转鼓，电动机转矩通过减速机传递给转鼓，带动转鼓以 3.5r/min 的转速运行，每天运行约 20h，转鼓为圆形但前后不同心，使得约为 1t 重化纤原料堆积在转鼓底部，需要电动机具有较大的起动能力方可运转。化纤干燥设备运行时的负载特性呈周期性变化，且实际运行功率未超过额定功率的 30%，电流没有超过额定电流的 50%，电动机的输入功率及三相电流平均值的实测曲线如图 4-106 所示。由图 4-106 可看出，该电动机的负载功率最大值约为 1.8kW，明显处于“大马拉小车”的运行状态。在此运行状态下，三相异步电动机的运行效率很低，实测该电动机的效率仅为 78.2%。因此，有必要对长期运行在该工况下的电动机进行节能改造。

稀土永磁是一种高性能的功能材料。充磁后，不需外加能量就能在电动机内部建立进行机电能量转换所必需的磁场，用其制成的高效、高起动转矩永磁同步电动机与异步电动机相比，不需要用以产生磁场的无功励磁电流，可以显著提高功率因数，使永磁同步电动机的功率因数为1，甚至达到容性，同时也减少了定子电流和定子电阻损耗；在稳定运行时，转子与定子磁场同步运行，转子中无感应基波电流，转子电阻损耗小，进而电动机的温升有更大裕度，故可将风扇减小以降低风摩耗，达到进一步提高电动机效率的目的。永磁同步电动机的负载特性曲线较为平缓，与同规格的三相异步电动机相比，在额定负载时效率可提高2%～8%，而且在轻载时约可提高20%，节能效果显著。

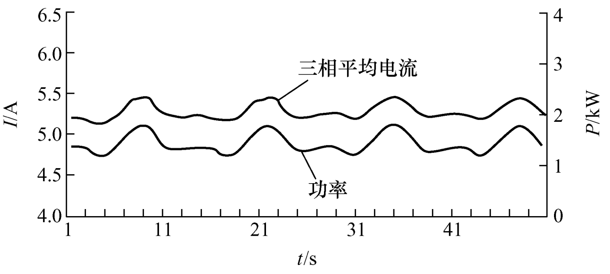


图4-106 功率与和电流实测曲线

2. 三相异步电动机与永磁同步电动机试验数据对比

干燥设备原配套电动机为三相异步电动机，型号为Y132S-4，功率为5.5kW，节能方案为将两组原有三相异步电动机改造为超高效三相永磁同步电动机，电动机额定数据对比见表4-22。

表4-22 三相异步电动机和超高效永磁电动机的额定数据对比

电动机型号	额定功率/kW	额定电压/V	接法	额定电流/A	额定转速/(r·min^{-1})	防护等级	绝缘等级
Y132S-4	5.5	380	△	11.6	1 440	IP44	B
TYJX132S-4	5.5	380	Y	9.3	1 500	IP54	F

电动机的负载率大小对电动机的效率和功率因数有着很大的影响，对于异步电动机来说，负载率不同，电动机的效率和功率因数变化很大，负载率越低，电动机的效率和功率因数随之降低。

从电动机测试结果来看，与三相异步电动机相比，永磁同步电动机不仅在额定状态下具有较高的效率和功率因数，而且在轻载时具有表现为比异步电动机更为明显的优势，额定时所测试的效率和功率因数分别为93.10%、0.994，比异步电动机分别高5.6%和0.16，而负载率在0.25时测得的效率和功率因数分别为91.3%、0.99，比三相异步电动机分别高13.1%、0.52。因此，在低负载率工况下采用永磁同步电动机，能够解决三相异步电动机在轻载时效率和功率因数低的突出问题。

案例119 烧结余热发电项目中高压变频器的应用

概述

在烧结工序总能耗中，有近50%的热能以废气的显热形式排入大气，既浪费了热能，又污染了环境。近几年，烧结余热发电技术得到了快速发展，但在烧结余热发电系统中，企业自用电率达到了30%～40%，其中最大耗电设备为循环风机，同时，循环风机在运行过程中经常非满负载运行，调节频繁，电动机的负载变化是非线性的，这就意味着电动机运行

效率降低，损耗增大，经济性变差。

烧结余热发电工艺系统流程如图 4-107 所示。烧结矿在环冷机上通过鼓风进行冷却，底部鼓入的冷风在穿过热的烧结矿层时被烧结矿加热，产生大量的高温废气。将这些高温废气引入余热锅炉加热给水，产生过热蒸汽。为了进一步提高余热锅炉的进口烟气温度，将余热锅炉利用完之后的 100～150℃低温烟气通过循环风机输送回环冷机的前段风箱，从而进一步提高余热烟温，有利于提高余热利用率。

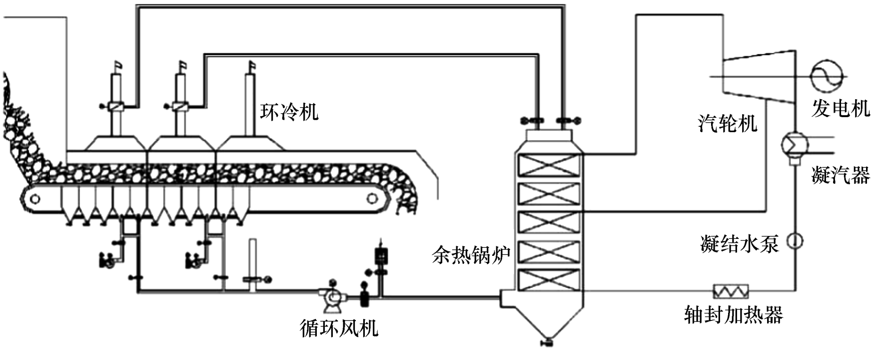


图 4-107　烧结余热发电工艺系统流程图

给水经给水泵进入余热锅炉，经过余热废气加热成过热蒸汽，高低压过热蒸汽送至汽机房中的补汽凝汽式汽轮机进行做功，传动发电机发电，利用完之后的乏汽经过冷凝成水，再通过泵输送回余热锅炉进行循环利用。

某烧结余热发电烟风系统中配置了 1 台 2500kW 循环风机，循环风机及配套电机的铭牌参数见表 4-23。

表 4-23　循环风机及配套电机的铭牌参数

项　　目	参　　数
设计运行工况风量/$m^3 \cdot h^{-1}$	903000
设计最大工况风量/$m^3 \cdot h^{-1}$	990000
风机入口设计静压/Pa	－1400
风机全压/Pa	6000
风机入口风温/℃	110
额定转速/$r \cdot min^{-1}$	730
轴承冷却方式	油冷
电机功率/kW	2500
电压/kV	10. 5
电机防护等级	IP55
电机冷却方式	油冷

烧结余热发电系统中循环风机变频器方案设计采用了一拖一控制方案，旁路开关柜用于工/变频切换，其一次电路接线图如图 4-108 所示。高压变频器型号为 Zinvert-A9H3100/10Y，其主要设计参数见表 4-24。

表 4-24　高压变频器的主要设计参数

项　　目	参　　数
系统输入电压/kV	10.5
系统输出电压/kV	10.5
额定容量/kVA	3100
系统输出电流/A	180
额定输入频率/运行变化范围/Hz	50% ±10%
变频器效率/%	>96
输入侧功率因数	>0.95
冷却方式	强迫风冷

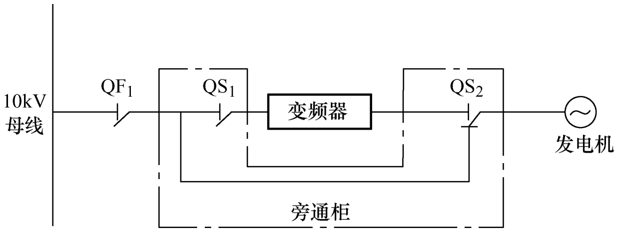


图 4-108　高压变频系统一次接线图

在图-108 中，QF_1、QS_1 和 QS_2 为 3 个高压隔离开关，首先将循环风机的风门关闭，在设定变频器给定频率后，人工给定变频运行指令，刀开关 QS_1 合闸，QS_2 打到变频位置，对变频器功率模块充电，待充电完成后，自动将高压开关 QF_1 合闸，此时变频实现无载启动，频率从 1Hz 逐渐上升到给定频率，变频器正常运行之后，将循环风机的风门全开，根据现场工况，使用变频器调节循环风机电动机转速，从而达到调节风机风量的目的。当出现变频器系统故障时，变频器自动停机，并主动分断 QF_1，人工手动将 QS_2 置于工频位置并分断 QS_1，再合通 QF_1，电动机进入工频运行状态。

案例 120　龙门刨床的节电改造

概述

某工厂现有龙门刨床 4 台，20 世纪的产品，工作台传动采用是“交流电动机—直流发电机—直流电动机”较老的传动系统，电气控制也比较落后，导致了耗能高、效率低，又因两台 60kW 大电动机连续运转，强大的噪声严重地污染车间环境。再加上这些设备超期服役时间长，电器元件老化，故障率高，维修难度大。鉴于这种情况，必须对这些老设备进行改造，彻底消灭“电老虎”。

龙门刨床由于运动形式和切削的需要，主传动对电气驱动有较特殊的要求。这就是必须满足宽调速范围、小精度差、大力矩低速切削及快速平稳过渡等指标要求。主传动调速系统的负载曲线如图 4-109 所示。图中 N_m 表示最大切削力，P_m 表示最大切削功率，n_2 为对应最大转矩时的最高速度，称之为计算速度，在 $n_1 \sim n_2$ 范围内要求恒转矩调速，而在 $n_2 \sim n_3$ 范围内则要求恒功率调速。

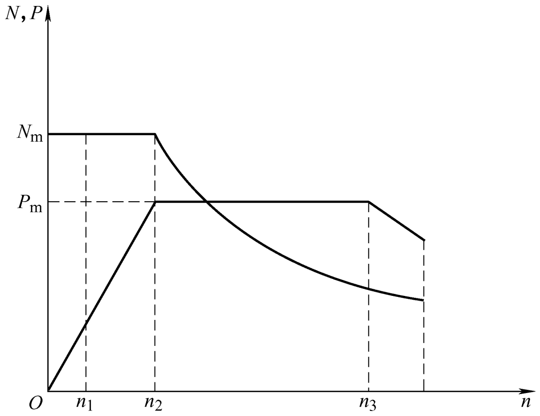


图 4-109　主传动调速系统的负载曲线

由于原刨床是由继电器组成的控制系统，故障率高，针对这种情况，在电路图的设计上以 PLC 为核心直接控制 6RA70 调速装置，使得可靠性和稳定性都有了保障，机床电器的其他部分：风机、油泵、台刀、进刀、横梁升降、横梁加紧及信号灯指示都由 PLC 控制，外围线路大大减少，设计思路简单清晰，继电器、接触器均按“模块”化方式组合，数量减少为 14 个。

整个改造过程可分为两部分，一是 PLC 程序编制与外围线路的设计，如图 4-110、图 4-111 所示；二是直流调速器的参数设置及功能模块的选择。选用三菱公司的 FX2N－64MR 可编程序控制器，按照电气原理图设计梯形图，使设计的程序完全符合原来机床的电气控制，利用传输设备将正确的程序输入到 PLC 进行调试运行，分别对横梁控制部分、刀架控制部分及风机、油泵等进行调试，机床的电气部分调试完成后，即可进行直流调速器的调试，对其输入控制信号、励磁端子及模拟输入端子的信号依次进行检查，正确无误后，可进行调速装置的功能模块的选择及参数的设定。

PLC 状态输出信号与 6RA70 直流调速装置的连接是此次改造的重点，根据 6RA70 装置的特点：34、37、38 号端子为装置运行控制端子，36、39 号端子为功能端子，2～5 号端子为模拟量输入端子，充分运用这些端子的配合即可完成工作台点动前进、点动后退、减速、自动前进及自动后退等控制。

直流调速装置参数设定时，首先将负载电动机的基本参数（额定电压、额定电流、励磁电压及励磁电流）等输入直流调速装置内，然后根据速度反馈的信号类型选择 P083 号参数，根据励磁运行状态选择 P082 号参数，另外为达到直流调速装置与直流电动机的最佳配合可进行参数的优化。

P051＝25 电枢和励磁的预控制和电流调节器的优化运行；

P051＝26 速度调节器的优化运行；

P051＝27 励磁减弱的优化运行；

P051＝28 摩擦和转动惯量补偿的优化运行。

当上述自动优化完成后，整个机床的电气参数调整也就结束了。

改造后的机床具有无级变速，低速转矩的恒定输出，操作方便、提高加工效率等优点，并且故障率降低 80%，平均节电 30%。

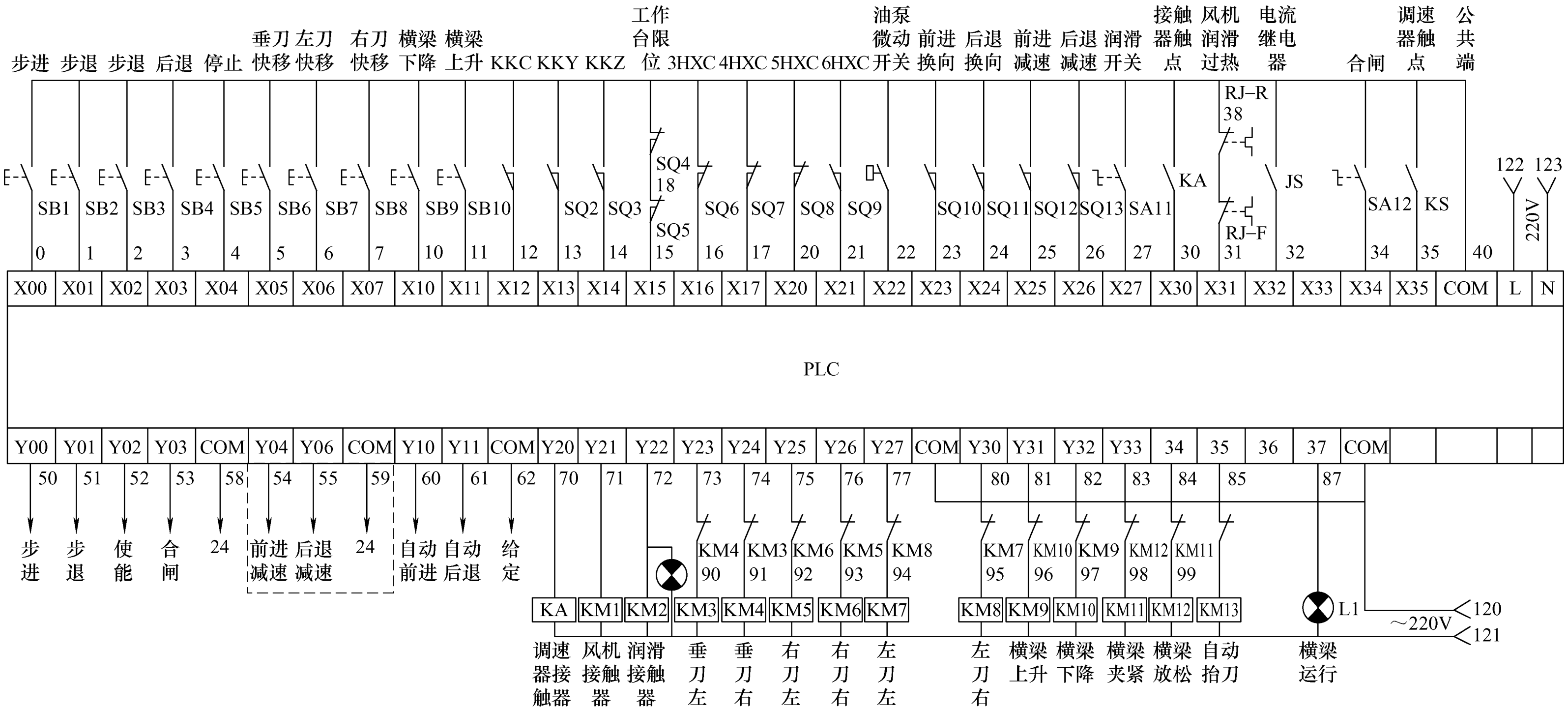


图 4-110　PLC 外部接线

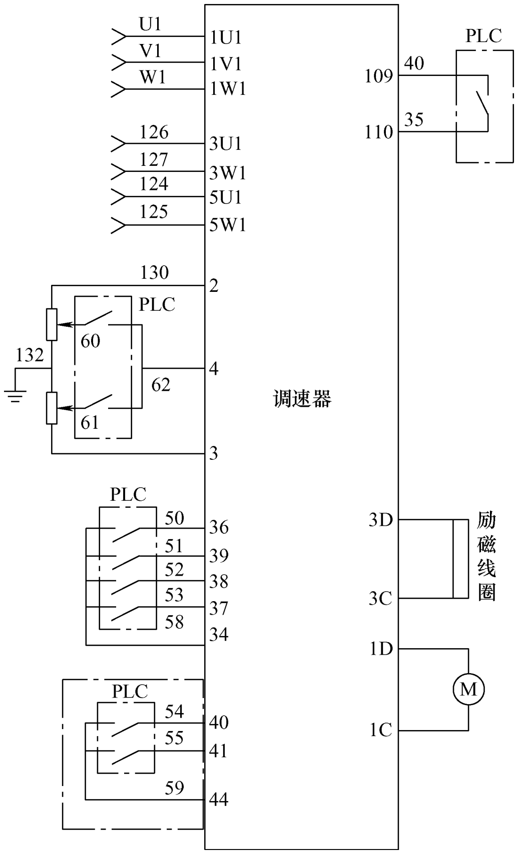


图 4-111　变频器外部接线

案例 121　立式车床的节电设计

1. 概述

C523 立式车床由左右立柱、连接横梁、工作台底座组成框架结构。配有 45kW 工作台电动机 1 台；7.5kW 横梁升降电动机 1 台；1.5kW 横梁夹紧电动机 1 台；2.2kW 左、右、侧刀架电动机 3 台。可加工的工件最大重量为 6300kg；垂直刀架车削工件最大直径为 2300mm；侧刀架车削工件最大直径为 2100mm。主变速箱把合在工作台底座后部，主变速箱经带轮与变速箱相连，变速箱由机械离合器推动交换齿轮实现十八档变速，使工作台获得 1 ~104r/min 的转速。横梁与立柱的导轨副底面与侧面采用导轨耐磨材料，横梁夹紧到位靠行程开关发信号，没有夹紧到位不能进给，没有放松时横梁不能升降，横梁两端是左、右进给箱，刀架由进给箱通过光杆、丝杠得到垂直和水平的进给运动，左、右垂直刀架均采用滑动导轨，并在工作台的一侧装有侧刀架，3 个刀架用于灵活加工工件。采用独立的悬挂按钮站操作，具有左、右、侧刀架选择及向上、向下、向左、向右；横梁上升、下降、夹紧、放松；工作台正转、停止等简单的功能。

2. 节电控制系统的设计

立式车床节电控制系统的设计方案如下：

1）左、右侧刀架采用变频控制，3 台电动机全部换成三相 380V、3kW、MDSP 系列变频电动机。可在横梁、垂直导轨上全行程移动，刀架可快速移动，进给速度平稳可调，并能精确定位。

2）机床工作台采用变频器 + 变频电动机，工作台电动机选用三相 380V、45kW、MDSP 系列 6 极变频电动机，实现工作台任意调速、正点、反点、正转、反转等功能。

3）原有悬挂按钮站按照新的控制方式，设计操作面板，加入频率和工作状态操作按钮及显示，方便工人操作。

4）横梁升降、夹紧电动机全部换成 Y2 系列节能型电动机代替 J0 型老式电动机。

5）机床辅助动作控制采用 PLC 作为控制核心，PLC 外围辅以少量电器元件，提高电气控制系统的高可靠性，便于维护。

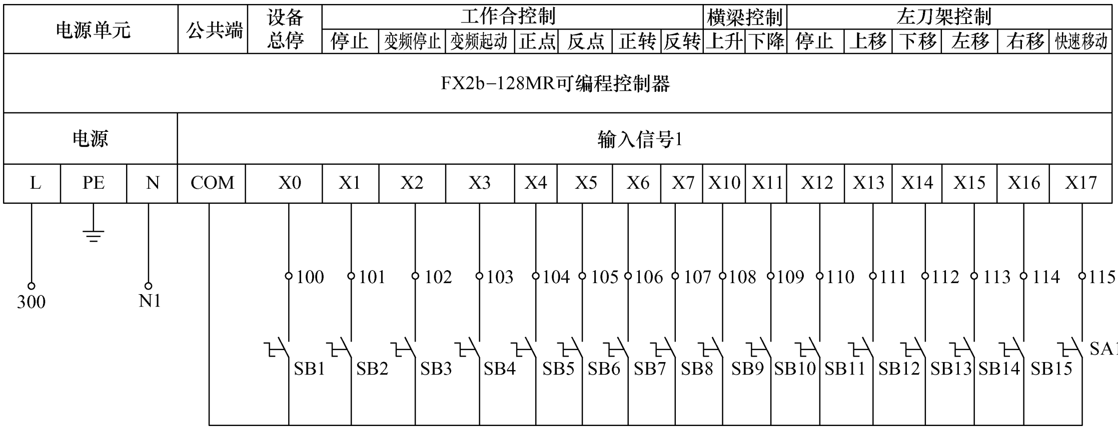


图 4-112　PLC 输入信号电路图

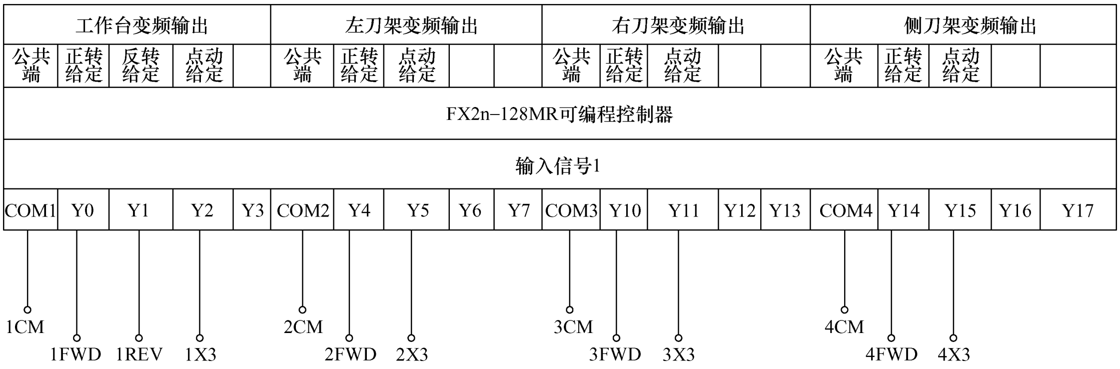


图 4-113　PLC 输出信号电路图

C523 立式车床节电控制系统投入运行后，具有如下优点：

1）工作精度和加工能力大幅提高。对左、右侧刀架及工作台改用变频电动机驱动后，通过变频器的转矩矢量调速控制，实现了全范围无级调速，运动平稳，减少冲击和振动，不易产生爬行现象，快速进给和刀具定位精度大大提高。经过现场测试，切削电流下降 57%，加工同样工件效率提高 30% 以上。

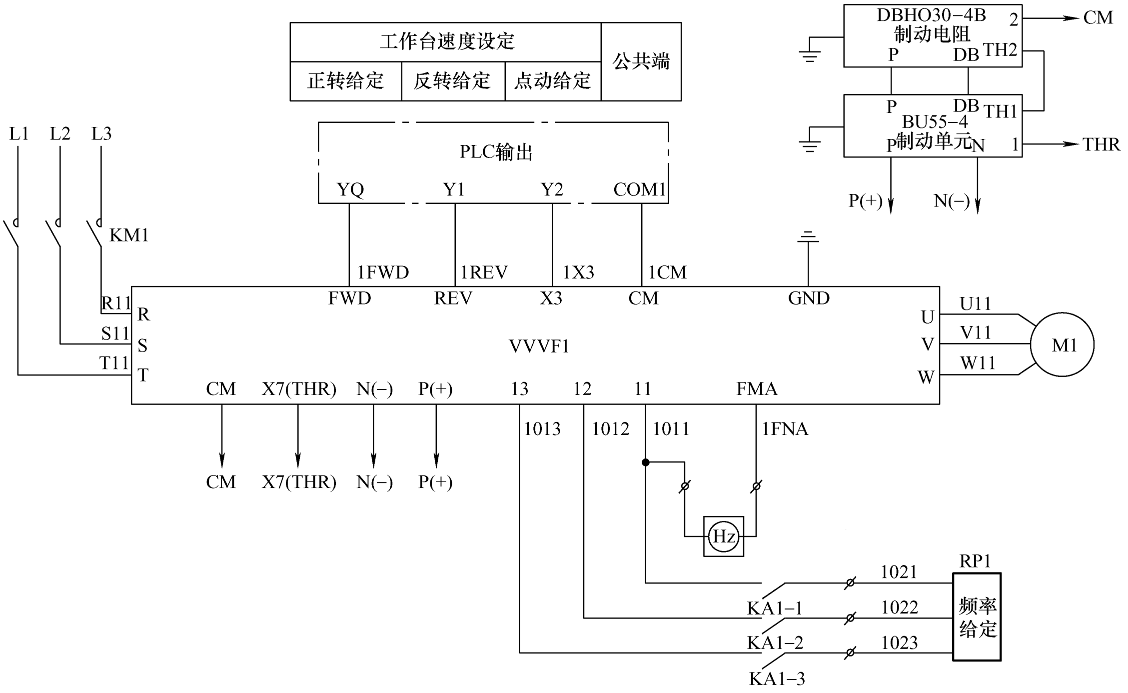


图 4-114　工作台变频控制电路图

2）大幅度降低驱动功率，节约了电能。改造前电动机都是工作在额定功率、额定速度，不能调速；而采用变频调速后，电动机速度可以任意调节，电动机完全在额定功率以下工作，节省了大量电能，经过测算，节电率为 30% 左右。

案例 122　港口带式输送机的节电

1. 概述

散货堆场带式输送机自南向北贯穿整个堆场，取料机根据作业要求沿传送带来回移动。取料机越往北，传送带的载料长度越大；取料机越往南，带式输送机的载料长度越小，当取料机移至最南端时，整条传送带接近空载运转。由于移舱、流程故障等原因，即使取料机位于堆场北端时，传送带有时也会较长时间地空载或轻载运行，大量浪费了电能。

2. 节电改造方案

带式输送机的节电改造选用了电流检测控制方案，这是基于笼型异步电动机的特性决定了它的负载功率与其工作电流是近似直线对应关系。

（1）电流监测控制

带式输送机电动机在负载量变化时工作电流会有明显变化，通过监测电流的变化就可以判断传送带的实际承载量。带式输送机的 3 台驱动电动机全部投入起动和初始阶段的运行，经过设定的延时时间，检测每台电动机工作电流，当电流设定时间内均持续低于设定值，则切除其中 1 台电动机，2 台电动机运行；在 2 台电动机运转期间，当其中任意 1 台电动机电流设定时间内持续大于设定值，则将原切除的那台电动机加入。通过控制投入运行驱动电动机的台数达到节能目的，并确保带式输送机不管在何种情况下重新起动，系统仍按原起动程

序起动。

（2）带式输送机节能改造系统

整个系统由前端数字电流表、PLC、终端控制箱等几部分组成。电流表连接在传送带驱动电动机互感器上，具有数据远传功能；数据上传至 PLC 采集模块，PLC 将数据进行处理，与设定值进行比较，达到条件后，做出相应的控制。带式输送机节能改造后系统如图 4-115 所示。PLC 接收数字电流表的信息的同时，还要接收带式输送机的工作状态并进行相应控制，如带式输送机起停信号、移舱信号、外部停止信号等控制信号。

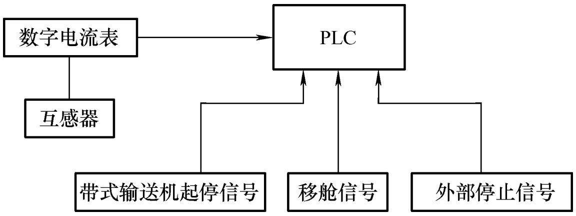


图 4-115　带式输送机节能改造系统框图

装船机进行移舱时，其带式输送机载料量短时间内变动较大，电动机电流也相应变动较大，很不稳定。考虑到高压电动机不宜频繁起动，因此 PLC 在接收到移舱信号时，系统自动恢复原运行状态。带式输送机起动时因需要的短时功率比较大，需要 3 台电动机同时转动，此时 PLC 忽略电流数据，经过一段时间（可设定）带式输送机运行稳定后，再根据电流值进行控制。同时需在现场或中控室加装节能系统紧急解除开关，以备特殊情况和设备检修时使用。

案例 123　潜油电泵智能节电装置的设计

1. 概述

潜油电泵作为一种油田常见采油设备，数量多，效率低，能耗大。随着国民经济的不断发展，能源供应日趋紧张，提高其生产效率，降低其能源消耗具有重要的现实意义。

潜油电泵在实际中存在的问题有：大马拉小车现象严重，潜油电泵效率较低，耗电量大；油田的供电电压常有波动，造成电动机过电压或欠电压，使电动机故障时有发生；几千米的井下电缆带来了 150V 左右的线路损耗，如果这部分损耗无法补偿，则会影响电动机的正常工作。可以看出，潜油电泵的传统供电方式必须经过改造才能实现节能高效的运行。

2. 改造方案

潜油电泵的改造采用一个以数字处理器 DSP 为核心的节电控制器来控制以有载分接开关为核心的有载调压电力变压器的节电装置，该装置克服了其他节电方法的种种弊端，实现了潜油电泵的自动调压节能及电动机的安全运行和电能节约。

潜油电泵智能节电装置由节电控制器、有载调压电力变压器和互感器组成，节电装置的系统工作原理如图 4-116 所示。

在负载发生变化或供电电压波动时，节电器会自动发出指令，驱动有载分接开关自动调节电力变压器的输出电压，让电动机处于最佳效率档位上，从而提高功率因数，降低电能消耗。有载调压电力变压器是由多分接抽头的变压器和有载分接开关组成。变压器的分接抽头与有载分接开关相应接点连接，当分接开关的电动机得到控制器指令后，经两级蜗轮、蜗杆机构减速，通过斜齿轮上销带动拉杆，使拉伸弹簧逐步拉伸储能，弹簧逐步释放，带动拔槽

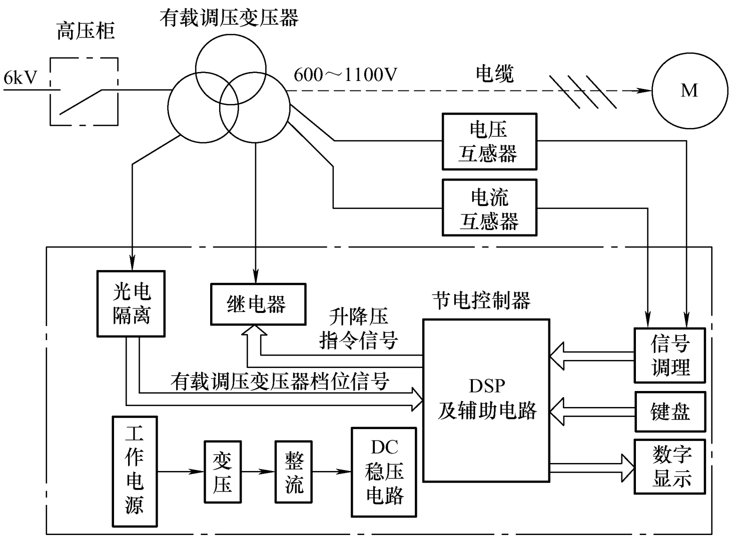


图 4-116　节电装置的系统工作原理图

件，由槽轮带动装有触头、过渡电阻的转轴迅速转过一个分度槽，由此开关实现了一次带载切换。

至于节电装置的算法，则依据如图 4-117 所示的不同负载率下的电动机电流电压特性曲线而定。A、B、C 为各负载下电动机的最佳工作点。如果此时电动机负载率由 100% 降为 60%，工作点由 A 变为 D，没有工作在最佳工作点 B 上。负载变化引起电流变化，节能器据此自动发出调压信号，使电压降到 B 点附近。同样电网电压的波动引起的变化如电网电压由 C 点升到 E 点，电压变化引起电流变化，节能器也会自动发出调压信号，使变压器输出电压降到 C 点附近。此算法简单实用，不依赖于电动机的内部参数，适应性很强。

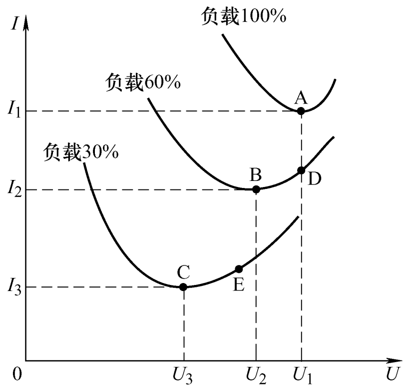


图 4-117　不同负载率下的电动机电流电压特性曲线

案例 124　油田丛井的抽油机节电

1. 概述

现在很多油田都采用丛井开采，即在地面上同一地点向地下多个不同地点、不同深度的油层打井，这样便于地面采油设备的管理，降低开采成本，有时一个井区会有几口甚至十几口油井，这种情况称为丛井。

丛井中有几台甚至十几台电动机在工作，有些工作于做功状态，另一些工作于发电状态。但它们是无序的，发电状态发出的电能也无法被其他设备使用，虽然每台抽油机安装一台能量回馈装置便可解决这一问题，但总成本太高，经济效益不明显。如果对这些电动机的工作状态进行有效管理，并且利用电动机分布相对集中的特点，实现软起动、能量回馈和无功补偿等单元的共享，既可以降低单台抽油机上的投资成本，又可实现较大程度的节电。

2. 节电控制方案

节电系统控制框图如图 4-118 所示，由一台主机控制器和若干台从机控制器构成。系统主机具有无功补偿控制、软起动控制功能，设有总线接口等。

每台从机控制器控制一台抽油机，从机控制器具有电动机运行状态监测与保护功能能够实时检测抽油机电动机的负载特性，判断有油或无油，记录抽油机出油与时间的关系表，并据此自动生成抽油机每天的工作时间表，并不断对时间表进行自动修正；每台从机控制器也设有总线接口，用于和主机控制器通信。从机控制器将其所控制的电动机参数通过总线传送给主控制器，以便主控制器选择合适的软起动器起动参数。主控制器通过总线协调从机控制器的动作，实现软起动器共享。

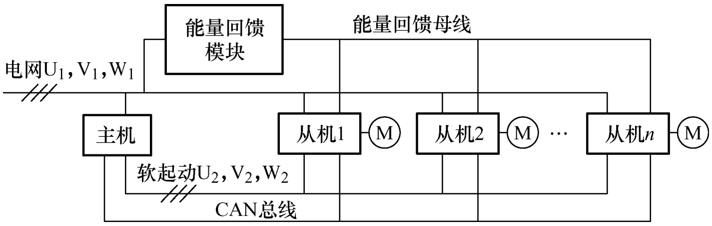


图 4-118　节电系统控制框图

系统还可选配能量回馈单元。如果系统抽油机功率较大，运行台数多，通常运行中抽油机电动机发出的电能就会较多，可以考虑使用能量回馈进一步节约电能。为有效提高电网功率因数，系统主机检测所有负载的总的功率因数，根据功率因数的变化自动投切电容器组，达到最佳补偿状态。

主机控制器硬件电路框图如图 4-119 所示。主机控制器以 AT90CAN128 为核心，通过 SPI 总线与 ATT7022A 进行通信，用于测量整个丛井的电能质量，调度无功补偿控制器。AT90CAN128 通过 I^2C 总线与 FM31256 通信，用于提供系统时钟，同时提供 32KB 的铁电存储器用于存储系统参数、运行数据。

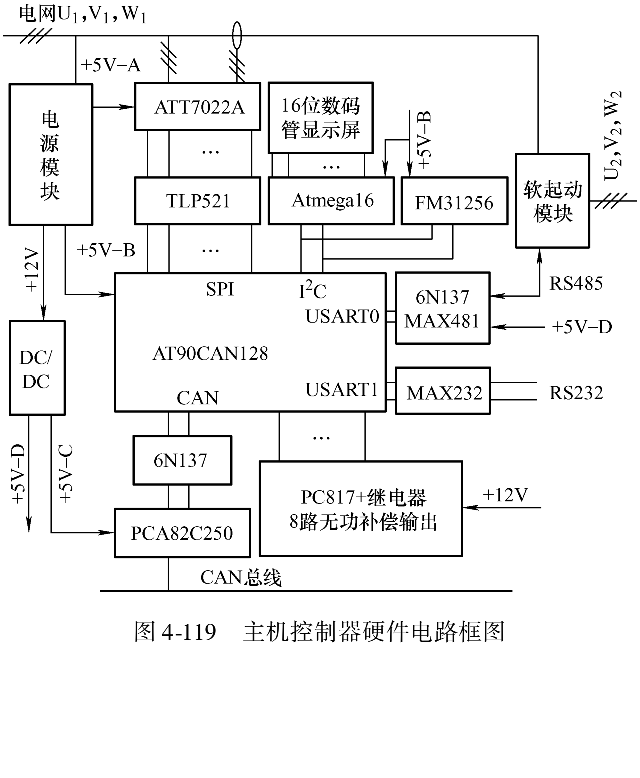


图 4-119　主机控制器硬件电路框图

案例125 油井电加热的节电

1. 概述

由于油田长期开采，所以大部分油井供液不足，沉没度非常低，多数油井为低渗透的低能、低产油田，大部分油田要靠注水压油入井，还有高粘、重蜡、多砂、多气、水淹和强腐蚀等复杂采油条件的出现。为了保证抽油机正常工作和产油量，对于高粘、重蜡、多砂的油井，抽油机均配置了电加热装置。配置了电加热装置的抽油机能耗包括抽油机电动机电能消耗和电加热装置电能消耗两大块，其中电加热装置电能消耗几乎是整个抽油机的一半用电量。

目前，给油井加热物理方式有两种：一是空心杆热线，二是电热油管。这两种加热方式都是把电能转变成热能，通过加热使油井中的原油变稀，以便举升到地面。下面讨论目前油井电加热控制的三种常用方法，分析如下：

（1）连续控制法

为了保证抽油机正常工作和产油量，使加热装置满功率输出，并且长期连续不断的运行。该方法虽然保证了抽油机正常工作，但是随着油井沉没度下降，产油量不断减少，再者加热装置满功率一直在运行，这样油井加热就过剩了，浪费大量电能，所以该方法不能较好地控制电加热装置。

（2）定时控制法

该方法使加热装置满功率输出，但加热装置不是连续运行，通过时钟控制，让加热装置定时运行。该方法缺点是如何确定加热装置运行时间及停止时间，一般只能根据操作技术员的经验，来确定加热装置运行时间及停止时间。由于油井的状况不断变化，所以该方法不具备可操作性。

（3）改变功率法

此方法与定时控制法类似，只是定时改变电加热装置的输出功率，试图改变输出功率达到节电目的。但该方法与定时控制法存在同样的问题，即只能依靠操作技术员的经验调整电加热装置的功率，同样不具备操作性。上述传统的加热控制方法没有突破加热装置的开环控制，不能实现加热装置的实时控制。

2. 油井电加热控制新方法实现

抽油机悬点载荷大小是直接反映抽油机的油井下的状况。针对某台正常生产抽油机而言，最大载荷除受油井的产液量影响外，最主要的是受井下原油的流动状态、结蜡和凝固程度的影响。在产液量不变的情况下，当井下原油的流动状态变差、结蜡或凝固程度严重时，抽油机的最大载荷就会明显增大，反之最大载荷就会减小。因此，可以通过监视抽油机的最大载荷来控制电加热的起动或停止。新的油井电加热控制方法就是以此为基础。因此问题关键是如何测量悬点载荷，由于目前抽油机的功率测量都是定期轮询进行的，所以实时测量抽油机的载荷很困难。为此这里通过测量比较容易实时测量的电动机功率和游梁摆动角度，由电动机功率和游梁摆动角度间接计算抽油机载荷。具体实现的系统框图如图4-120所示。

在图4-120中可以看到，油井加热控制系统由控制器、角度传感器、功率变送器、数据显示及参数设定单元、电加热装置等组成，系统的核心是控制器，它要完成测量、数据计算和控制任务。虽然游梁式抽油机油井电加热控制新方法实现了电加热闭环控制，但是为了抽

油机正常的运行，根据抽油机的运行工艺特点及油井的不确定因素，除了利用悬点实时载荷对电加热进行实时闭环控制外，还应该考虑抽油机的其他影响电加热因素，例如抽油机的电动机电流大小、合理设定用于电加热控制的最大最小载荷参数、防止控制器控制点震荡等等。电加热控制的基本流程如图 4-121 所示。

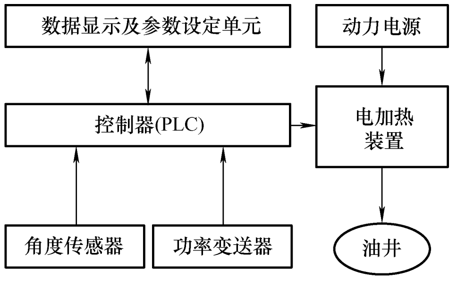


图 4-120　油井电加热控制框图

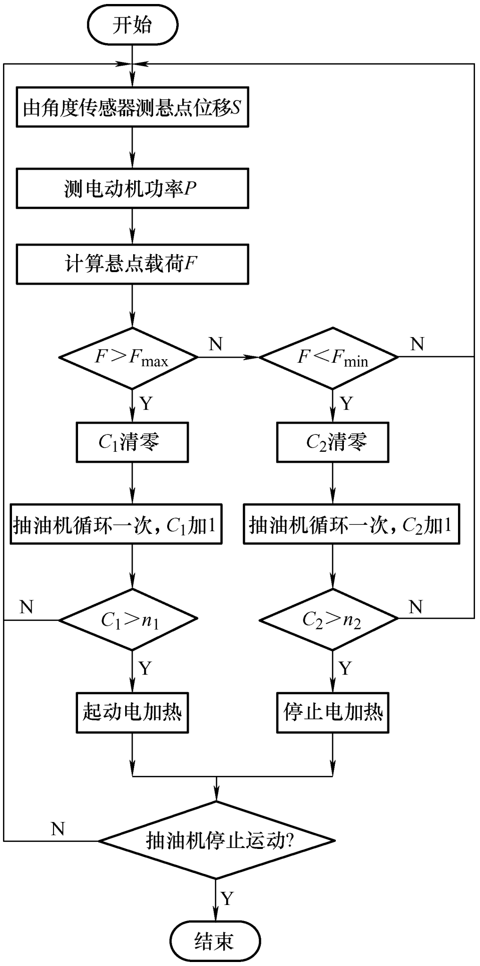


图 4-121　电加热控制的基本流程

在图 4-121 中，F_{max} 和 F_{min} 为设定的最大悬点载荷和最大悬点载荷参数，该参数是控制电加热启停的依据。C_1 和 C_2 为计数器，C_1 用于悬点实时载荷超过设定悬点载荷时累计抽油机循环工作次数；C_2 用于悬点实时载荷小于设定悬点载荷时累计抽油机循环工作次数。它们作用相当于延时功能，目的是防止控制点震荡。n_1 和 n_2 为对应 C_1 和 C_2 计数器的设定值。

案例 126　可变功率节能传动装置在低渗透油田的应用

1. 概述

某低渗透油田开采初期采用普通 Y 系列传动装置，该传动装置起动转矩低，所以通过

提高传动装置容量来满足起动需要，但过大的装机容量造成油井生产时常常处于轻载运行状态，使传动装置运行效率降低，增加了油井能耗。

电动机的效率计算公式：

$$\eta_1 = P_2/P_1 \times 100\% = (1 - \sum \Delta P \text{机}/P_1) \times 100\% \quad (3)$$

通过理论分析，电动机效率 η_1 随输出功率 P_2 的变化曲线如图 4-122 所示。从图中可以看出，当 P_2 在（60% ~100%）P_N 范围变化时，电动机效率 η_1 较高；当电动机负载低于 50% P_N 以后，电动机效率急剧下降。

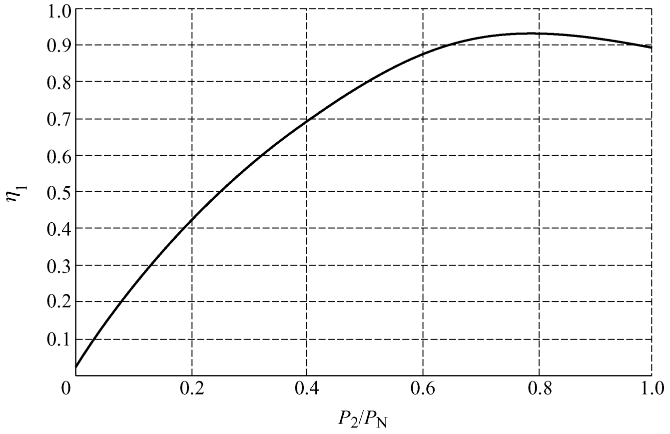


图 4-122　异步电动机的效率曲线

因此，要提高电动机负载率，就要提高电动机效率；但当电动机的输出功率基本保持不变且与装机功率相比过小时，提高负载率最有效的办法就是降低电动机额定功率 P_N。

某油田为降低机采能耗，近几年不断试验应用了不同类型的节能电动机，虽然取得了一定的节能效果，但都没有从根本上解决“大马拉小车”的问题。

2. 可变功率电动机的选用与工作原理

可变功率节能传动装置由可变功率电动机和电动机控制箱两部分组成。可变功率电动机与双速双功率电动机的区别在于绕组的不同：双速双功率电动机有两套绕组，两种接法，对应两种电动机极数、转速和功率；而可变功率节能传动装置的电动机只有 1 套绕组，3 种接法，对应 3 种功率见表 4-25。

表 4-25　可变功率电动机性能参数

输出功率/kW	满载电流/A	满载转速/($r \cdot min^{-1}$)	转差率/%	效率/%	功率因数/%	堵转转矩/($N \cdot m$)	堵转电流/A
10.0	18.5	462	7.69	76.3	60.0	719.5	73.4
6.8	11.3	456	8.78	78.7	65.7	422.8	42.6
4.6	7.4	445	11.06	80.3	70.9	223.5	23.6

根据试验井的负载及工作参数等情况，选取可变功率电动机型号为 YCH225-12（YCH 指抽油机专用三相异步高转差率电动机，225 表示机座中心高为 225mm，12 表示电动机极数为 12 极，对应同步转速为 500r/min）。

可变功率电动机有以下特点：

1）电动机具有7%～11%的转差率，这样的软起动特性有利于抽油机在起动和发生砂卡、蜡卡时减少减速箱和抽油杆所受的冲击载荷，延长抽油机的使用寿命。

2）电动机具有较大的过载能力，能在额定负载下连续可靠地运行。

3）电动机绕组内装有过温保护热继电器，能够通过保护装置来保障电动机的可靠运行。

4）电动机具有3种转矩形式的输出可供选择，能够与抽油机达到良好的功率匹配。

5）可变功率节能传动装置的电动机控制箱与普通控制箱的最大区别在于内部装配了一个能够进行数字化显示的节能控制器（跟踪、记录电流并进行功率切换），上有可显示电动机电流等其他参数的液晶面板；同时该电动机控制箱还配备有补偿电容器，能降低电动机及线路的无功损耗，提高电动机功率因数；另外还具有短路保护、过载保护、断相保护、浪涌过电压保护（防止电动机因过电压或雷击而烧毁）及故障记忆、灵敏度调节等功能。

可变功率节能传动装置电动机绕组的3种连接方式分别是星形、三角形和延边三角形，不同的连接方式对应不同的输出转矩（额定功率）。当电动机绕组接成角形时，输出转矩最大；当电动机绕组接成延边三角形时，输出转矩次之；当电动机绕组接成星形时，输出转矩最小。

该节能传动装置利用控制箱里的数字化节能控制器来实现高、中、低3种输出转矩形式的自动变换。起动时运行状态为高功率形式，起动后由数字化节能控制器检测抽油机运行负载和电流，并根据电动机负载电流的大小，自动选择一种与负载最佳的功率匹配形式运行。如果小于下一级功率的额定电流，就将电源切换到电动机的下一级功率状态；电动机运行在小功率期间，如果采油工况发生变化，抽油机负载大于电动机小功率对应的额定负载，就将电源切换回电动机的大功率状态。这样就可以在轻负载的情况下将电动机的额定功率自动降至最低需求，而在整个功率变换过程中，电动机转速保持稳定，降低电动机的定子励磁电流，使电动机绕组的铁损、铜损以及整个供电线路的损耗减少，避免电动机的电能浪费，提高了电动机的效率。

案例127　煤矿提升机的节电

1. 概述

在煤矿生产中，矿井提升机起着非常重要的作用，是矿井正常生产的关键设备。提升机电控系统的技术性能，既直接影响矿井生产的效率与安全，又代表着矿井提升机电控系统的发展水平。

某矿井井筒直径为5.5m，井深为810m，提升高度为787.5m，最大提升速度为9.713m/s。多绳摩擦式绞车型号为JKMD2.8×4型，电动机型号为YR630-8/1180，有效功率为630kW，额定转速为741r/min。

原提升机电控系统采用交流提升机晶闸管多级分相编码启动电控系统，转子切换电阻级数为20级的TKM-PC型电控。控制系统采用西门子S7-300型PLC，双CPU作为控制元件，分别用于主控和后备保护。双机液压站RH-6.3型，盘式制动器制动系统。减速与爬行段采用低频电源装置传动。

高压换相装置采用真空接触器，额定电流为75A/6kV；加速回路采用晶闸管切除电阻的

方法，晶闸管共36台，型号为KP800。原电控闭环控制有一部分采用了磁放大器，闭环控制特性不佳，司机操作时经常需提前减速，有时不能全速运行。

有环流低频电源装置元件多，闭环调节困难，闭环控制性能难以得到保障，常出现过电流及晶闸管损坏等故障，造成紧急制动，影响设备的正常运行。

2. 改造方案

改造方案如下：

1）采用TKM-ZB/4-D2-630/4转子变频控制系统，并保留原转子串级调速系统，保留原电控系统的换相柜、低频装置、转子控制柜和电阻排；更换高压开关柜、PLC控制柜和低压电源柜；增加两台高压转换柜、变频电源柜、整流柜、逆变柜和3台自耦变压器。

2）采用低压无反馈矢量控制变频器，采用交—直—交变频，逆变环节采用脉宽调制（PWM）技术，不仅可提高调速系统功率因数，还可减少电网的高次谐波含量。

3）应用INTEL-P4上位机工控机配合西门子公司新版WinCC6.0监控软件作为人机接口设备，可以观察PLC运行的情况，各外部接点动作状态，以及各模拟量回路状态等，方便维修；可以通过上位机设定运行参数，调整运行状态；可以连接局域网及因特网，实现远程监控和远程诊断。本系统实现的最终目的是将TKM-ZB/4-D2-630/4转子变频控制系统作为主调速系统，原系统保留作为后备保护设施。两套电控系统互为备用，可以相互切换。

改造后的主电路如图4-123所示。高压进线接6kV高压电网，高压开关柜控制整个系统高压电源，高压转换柜用来实现两套电控系统的转换，换向柜和低频柜保留原系统装置，低频柜为KDG型，原系统电阻排保留；整流变压器采用6kV/480V自耦变压器，逆变变压器为480V/580V升压自耦变压器，逆变柜输出变压器为480V/850V升压自耦变压器；整流逆变装置采用西门子公司生产的最高级别的6SE7系列能量回馈变频器。

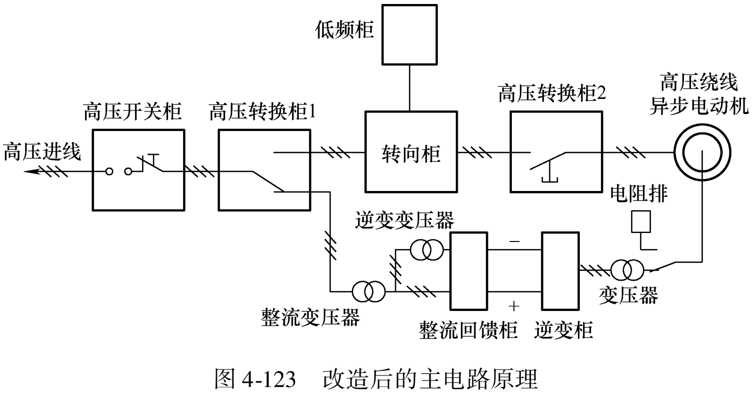


图4-123　改造后的主电路原理

转子变频调速应用的是成熟的低压无反馈矢量控制变频器，采用交—直—交变频，逆变环节采用脉宽调制（PWM）技术，不仅可提高调速系统的功率因数，还可减少电网的高次谐波含量。

案例128　注塑机液压系统的变频节电

1. 概述

虽然变频技术在注塑机节能改造中的应用越来越多，但在使用过程中针对不同零件的要

求，采用变频器改造的注塑机加工出的零件或多或少地存在一些质量问题，这些问题主要表现在：

1）系统效率下降，制件成品率下降，制品存在缺料和填充不满的现象，造成这种现象的主要因素就是系统的压力变化跟不上工艺上的要求。

2）采用变频调速后，电动机的运转速度是由系统的压力决定的，系统的压力通过压力变送器反馈到变频器中，再由变频器发出指令稳定系统的压力，这种方式延迟了系统的工作时间，降低了生产效率。总体上这两个问题都是由液压系统的压力变化造成的。

2. 节电方案

注塑机液压系统采用先控技术解决以上两个问题，其特点就是采用 PLC 技术，根据系统的工艺要求编制程序事先控制变频器的运行频率，达到控制液压系统压力的目的，当达到工艺要求的系统压力的时间时，液压系统立刻提供所需的压力，从而消除了压力变化的滞后，解决了以上存在的两个问题。解决这一问题的关键就是要找到系统压力变化的滞后时间，从而在编程时予以先控。

先控技术的工作原理如图 4-124 所示，根据工艺系统的压力要求，PLC 指令变频器驱动油泵电动机向系统供油，当压力达到工艺要求时，压力变送器将压力信号反馈到 PLC，PLC 通过 PID 算法控制油泵减少油量供应，从而达到节电的目的。本系统采用的各类元器件见表 4-26。

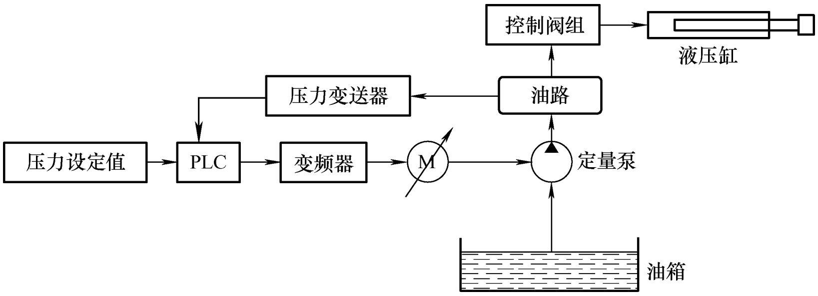


图 4-124 先控变频液压系统原理图

表 4-26 先控变频液压系统元器件一览表

元器件名称	元器件型号	主要性能及特点
电动机	Y90L-4	1.5kW、380V、3.7A，接法Y，防护等级 IP44，工作制 SI，B 级绝缘
变频器	LBD-G300-4T0015A	输入：3PH 380V 50Hz 输出：3PH 0～380V 0～60Hz
PLC 及触摸屏	XMP3-18R	V6.0/2.5，电源：DC 24V 3W

参 考 文 献

[1] 李毅. 家用电器待机耗电分析与家庭节电模式探讨［J］. 建筑电气，2013（2）.
[2] 陆武. 酒店客房风机盘管的节电设计［J］. 工程建设，2008（1）.
[3] 朱先灿. JYDB 型卧式液压打包机的节电改造［J］. 棉纺织技，2010（2）.
[4] 杜献伟. 凝结水系统节电探析［J］. 热力发电，2011（5）.
[5] 王会斌，等. 高层居住区给水排水设计中的节能节水技术［J］. 建筑节能，2012（3）.
[6] 张滨渭，等. 燃煤电厂电除尘器节电技术研究［J］. 电力设备，2007（6）.
[7] 荣良章，等. 交流接触器节能技术的发展及应用［J］. 机床电器，2011（4）.
[8] 何泳洪. 浅谈配电变压器节能降耗措施［J］. 机电信息，2011（10）.
[9] 葛翔，等. 起重机能耗状况的实测与分析［J］. 起重运输机械，2010（3）.
[10] 马二顺. 高速公路隧道照明节能研究［J］. 工程与建设，2010（2）.
[11] 周连庆. 铁路站场照明现状及 LED 高效照明灯的研究应用［J］. 铁道机车车辆，2010（4）.
[12] 姚俊红. 高校教学楼照明节电控制系统的研发［J］. 照明工程学报，2011（4）.
[13] 刘华，宋秋霞. 紧密纺节能技术研究［J］. 上海纺织科技，2012（8）.
[14] 孙智刚，等. 能量平衡理论在电弧炉节电上的应用［J］. 工业加热，2012（1）.
[15] 王了辽，等. 涂装烘干炉加热能源的改造［J］. 工业加热，2007（4）.
[16] 吴亚军，等. 大直径焊管生产线横移车节电技术应用［J］. 焊管，2010（9）.
[17] 王文学. 电动缝纫机节电装置技术改进［J］. 针织工业，2012（11）.
[18] 王陆芳. 浅谈水泵激波节电技术装置的应用［J］. 科技情报开发与经济，2011（4）.
[19] 王丽琴. 大型商场节能照明电路的分析设计［J］. 商场现代化，2009（7）.
[20] 黄路. 深圳地铁车站环控系统节能分析［J］. 建筑节能，2008（5）.
[21] 许晓瑜. 中央空调系统的设计裕量与节能办法［J］. 建筑节能，2013（1）.
[22] 吴恩，等. 新型能量回收式新风系统的设计与应用［J］. 建筑节能，2012（9）.
[23] 周志平，李念平. 污水源热泵系统应用的节能减排分析［J］. 建筑节能，2012（6）.
[24] 施美芬. T8 高频荧光灯的节能应用［J］. 照明工程学报，2010（3）.
[25] 刘国华，等. 永磁调速器在电厂灰浆泵系统中的应用及分析［EB/OL］.［2014-10-25］www. chuandong. com.
[26] 段苏振. 欧陆 590 + 全数字直流调速器在钢轨刨床节能改造中的应用［EB/OL］.［2014-10-25］www. chuandong. com.
[27] 王黎明，等. 中压变频器在高炉铁前除尘风机节能改造中的应用［EB/OL］.［2014-10-25］www. chuandong. com.
[28] 樊献民. 时间继电器在机床电路中的节电应用［EB/OL］.［2014-10-25］www. chuandong. com.
[29] 姜绍辉，等. 路灯降压节电技术探讨［EB/OL］.［2014-10-25］www. chuandong. com.
[30] 汪震，等. 变频技术在深井泵供水机组中的应用［EB/OL］.［2014-10-25］www. chuandong. com.
[31] 宁榕，等. 正弦绕组在 Y2 系列电机中的应用［J］. 电机技术，2009（3）.
[32] 程利民，等. 基于 S7-200 PLC 的路灯节电控制器设计［J］. 自动化技术与应用，2007（10）.
[33] 脱慧. 基于 GSM 短消息控制的智能照明节电系统设计［J］. 现代电子技术，2008（11）.
[34] 曾秀全，等. 通信基站“免空调”节能技术研究［J］. 通信电源技术，2014（4）.
[35] 张传余，等. 球磨机的节电应用［J］. 化工矿物与加工，2012（7）.
[36] 龚涛，李纲. 基于 IGBT 模块技术的港口节电应用［J］. 港口科技，2011（6）.
[37] 朱晓琛. 彩涂机组后燃烧排烟风机节电应用［J］. 宝钢技术，2014（1）.

［38］陆生鲜．开关磁阻电动机结构及节能优势浅析［J］．电子制作，2014（6）．
［39］袁建敏，等．自起动永磁电机在化纤机械行业节能改造中的应用及效果分析［J］．电机与控制应用，2011（10）．
［40］王艳辉，宋晓燕．油田丛井的抽油机节电系统［J］．电气应用，2008（14）．
［41］贾林妮，肖衍党．烧结余热发电项目中高压变频器的应用［J］．节能，2013（5）．
［42］姚伟，等．C523 立式车床的节电控制系统设计与应用［J］．节能，2012（6）．
［43］刘洋，孙红燕．日照港装卸生产用电设备节电改造［J］．节能，2009（8）．
［44］熊德智，张颖，茹新伟．基于由主控端负荷控制受控端供电的智能节电控制系统［J］．节能，2008（2）．
［45］王志海，等．潜油电泵智能节电装置的研究［J］．节能，2007（9）．
［46］姚卫东，刘雅军．“电老虎”2016A 龙门刨床的节电改造［J］．电气时代，2011（6）．
［47］孙金根，吴东生，于洋．油井电加热节能控制新方法［J］．节能技术，2011（3）．
［48］任瑾，文方，宗明超．基于超级电容的电梯能量回收系统的研究［J］．现代机械，2014（4）．
［49］唐宏，李玉妍．载频智能节电技术在 TD-LTE 通信网络中的应用［J］．数字通信，2014（3）．
［50］唐知平．变频节电技术在煤矿提升机上的应用［J］．煤炭科技，2014（1）．
［51］樊管民．简述无功补偿技术在低压电网中的应用［J］．山西建筑，2014（14）．
［52］关文涛．可变功率节能传动装置在低渗透油田的应用［J］．石油石化节能，2013（2）．
［53］张庆力，等．先控式变频液压系统的实验研究［J］．机床与液压，2012（1）．

节电百例 一点通

JIEDIAN BAILI YIDIANTONG

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

机械工业出版社E视界

机械工业出版社微信公众号

上架指导 工业技术/电机系统
ISBN 978-7-111-50333-0
策划编辑◎林春泉

ISBN 978-7-111-50333-0
9 787111 503330 >
定价：39.90元